

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

**Optimalizace tvaru tělesa světlometu  
za účelem snížení deformací po  
odlisování**

Optimizing the Shape of the Headlamp  
Housing to Reduce  
Deformation after the Injection

Student:

Bc. Ondřej Sedlačík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra částí a mechanismů strojů

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Sedlačík**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin  
Téma: **Optimalizace tvaru tělesa světlometu za účelem snížení deformací po odlisování**  
**Optimizing the Shape of the Headlamp Housing to Reduce Deformation after the Injection**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Optimalizujte tvar tělesa světlometu z materiálu PP-GF30 za účelem snížení deformací výrobku po odlisování, které způsobují následné komplikace při montáži krycího skla a jiných komponent světlometu. Navrhovaná řešení musí zohlednit stávající zástavbu světlometu a technologii výroby. Práce bude vypracována ve spolupráci s firmou Varroc Lighting System, s.r.o.

1. Pro vybrané typy těles z materiálu PP-GF30 proveďte analýzu deformací a jejich příčin.
2. Vypracujte doporučení, popř. konstrukční zásady za účelem minimalizace těchto deformací (zejména vliv geometrie tělesa a pozice vstupu).
3. Vypracujte 3D dokumentaci navrhovaného optimalizovaného řešení.
4. Proveďte MoldFlow-analýzu navrhovaného řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. *Design Guidelines Varroc Lighting System*. Varroc Lighting System, s.r.o.
2. Soubor s CAD-daty vybraného světlometu. Varroc Lighting System, s.r.o.
3. MoldFlow-simulace tělesa světlometu. Varroc Lighting System, s.r.o.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

prof. Dr. Ing. Miloš Němček  
vedoucí katedry



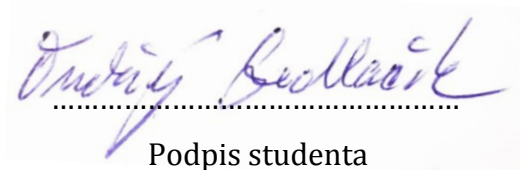
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech vozidla získaných od firmy Varroc Lighting Systems, s. r. o., Šenov u Nového Jičína, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 20. května 2019

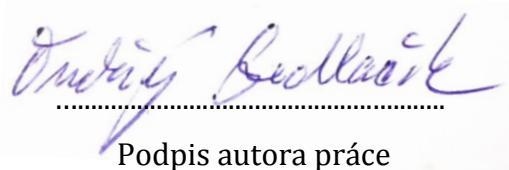


Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Ondřej Sedlačík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

U Paleska 281

739 24, Krmelín

## Anotace diplomové práce

Bc. Sedlačík O. *Optimalizace tvaru tělesa světlometu za účelem snížení deformací po odlisování: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra části a mechanismů strojů, 2019, 59s. Vedoucí práce: Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá optimalizací tvaru tělesa světlometu osobního vozidla a snížení v něm vzniklých deformací po odlisování.

První části se práce zabývá obecným procesem vstřikování plastů. V další části jsou uvedeny zásady pro konstruování vstřikovaných plastových dílů. Následující kapitola pojednává o plastech, polypropylenech a konkrétním použitém materiálu PP-GF30. Dále práce rozebírá současné řešení a jeho problémy. Následně jsou popsána doporučení pro zmírnění deformací a konkrétní úpravy, která ověřují správnost doporučení. V závěrečné části práce je provedeno posouzení přínosu jednotlivých úprav a shrnutí úkolů ze zadání.

Klíčová slova: světlomet, deformace, vstřikování, polypropylen, skelná vlákna

## Anotation of diploma thesis

Bc. Sedlačík O. *Optimizing the Shape of the Headlamp Housing to Reduce Deformation after the Injection: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2019, 59p. Thesis head: Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.

Diploma thesis is focused on optimization shape of headlamp housing and lowering deformations after injection.

The first part deals with the general process of plastic injection. In the next part, the construction principles for injection molded plastic parts are presented. Next chapter deals with plastics, polypropylenes and the particular PP-GF30 material used in this thesis. Further is this thesis about current solution and its problems. Subsequently, recommendations for reducing deformations and specific modifications to verify the accuracy of recommendations are described. In the final part of the thesis is an assessment of the benefits of individual modifications and a summary of tasks from the assignment.

Key words: Headlamp, Deformation, Injection, Polypropylene, Glassfibre

# Obsah

Úvod.....	9
1 Proces výroby světlometu.....	10
1.1 Vstřikování plastů.....	10
1.1.1 Proces vstřikování.....	10
1.1.2 Schéma vstřikovacího lisu.....	11
2 Obecné zásady pro tvorbu plastových dílů.....	12
2.1 Tloušťka stěny .....	12
2.2 Žebrování .....	13
2.2.1 Návrh žebrování.....	13
2.2.2 Velikost žeber .....	15
2.2.3 Počet žeber a jejich umístění .....	16
2.3 Komínky .....	16
2.3.1 Výztuhy.....	18
2.4 Ostré rohy .....	18
2.5 Úkosity .....	19
3 Plasty plněné skelnými vlákny .....	21
3.1 Termoplasty .....	21
3.1.1 PP-GF30.....	21
4 Stanovené cíle práce .....	23
5 Současné řešení a jeho problémy .....	24
5.1 Housing Projekt 1 .....	24
5.1.1 Deformace housingu Projekt 1 v ose Y.....	25
5.1.2 Deformace housingu Projekt 1 v ose Z.....	26
5.2 Housing Projekt 2 .....	29
6 Snížení deformací .....	32

6.1	Technologické řešení.....	32
6.2	Konstrukční řešení .....	33
7	Konkrétní konstrukční úpravy a jejich vliv na deformace.....	34
7.1	Zvětšení rozměru rádiusů .....	34
7.2	Přidání obvodového lemu.....	39
7.3	Odstranění žebrování.....	43
8	Změna počtu vstřikovacích bodů, jejich polohy a jejich vliv na deformace .....	47
8.1	Změna počtu vstřikovacích bodů.....	47
8.2	Změna polohy vstřikovacího bodů.....	51
9	Závěr .....	54
10	Seznam použité literatury.....	56
11	Seznam příloh .....	58

## Seznam použitých slov a zkratek

<i>housing</i>	těleso světlometu
<i>MoldFlow</i>	program pro analýzu vstřikování plastů
<i>nivelace</i>	vytyčování vodorovné roviny
<i>voština</i>	šestiúhelníková struktura
<i>def.</i>	deformace
<i>např.</i>	například
<i>PP – GF30</i>	polypropylen s 30% obsahem skelných vláken



# Úvod

Při výrobě plastového dílu je velmi důležitá jeho správná konstrukce. Pokud má výrobek při vstřikování plastů vady, ani správná forma a optimální technologie výroby neodstraní nedostatky v jeho konstrukci.

Důležitým faktorem při tvorbě plastového dílu je dodržování určitých konstrukčních zásad, jako je správná tloušťka stěny plastového dílu, vhodné žebrování, správná volba rádiusů a podobně.

U velkých plastových odlitků, které slouží jako základ pro montáž dalších komponentů, je kladen velký důraz na polohu montážních bodů. Vzhledem ke vzniku velkých deformací vlivem smrštění, je dosažení optimální polohy montážních bodů velmi náročný úkol.

Dalším problémem, je propadání dlouhých ploch při chladnutí výlisku. Tyto plochy je náročné konstrukčně upravit tak, aby nedocházelo k jejich deformaci.

Cílem této diplomové práce je analýza dvou těles světlometů (housingů) a možné příčiny jejich nežádoucích deformací po odlisování.

Dále je úkolem vypracovat doporučení pro minimalizaci deformací. Vypracovat 3D dokumentaci a provést MoldFlow analýzu navrhovaných řešení.

Tato diplomová práce vznikla pod vedením firmy Varroc Lighting Systems s.r.o, která vytvořila zadání a poskytla podklady pro její vypracování. Zkoumanými objekty jsou housingy čelních světlometů pro tuto diplomovou práci označené Projekt 1 a Projekt 2.

# 1 Proces výroby světlometu

První část produkce světlometu je jeho vývoj. Na tomto procesu se podílí velká skupina vývojářů jako konstruktéři, optici a elektronici.

Jakmile je světlomet připraven k výrobě a vyhovuje požadavkům zákazníka, nastává proces výroby. Tento proces začíná lisováním plastových dílů. Po odlisování a relaxaci plastových dílů přichází na řadu jejich montáž a vzájemné sestavení spolu s dalšími díly od externích dodavatelů. V této fázi se nejvíce projevují vzniklé deformace, které vedou ke špatnému slícování dílů. To se projeví například při montáži skla světlometu do lepící drážky, případně reflektorů s jejich montážními body, vedením a podobně.

## 1.1 Vstřikování plastů

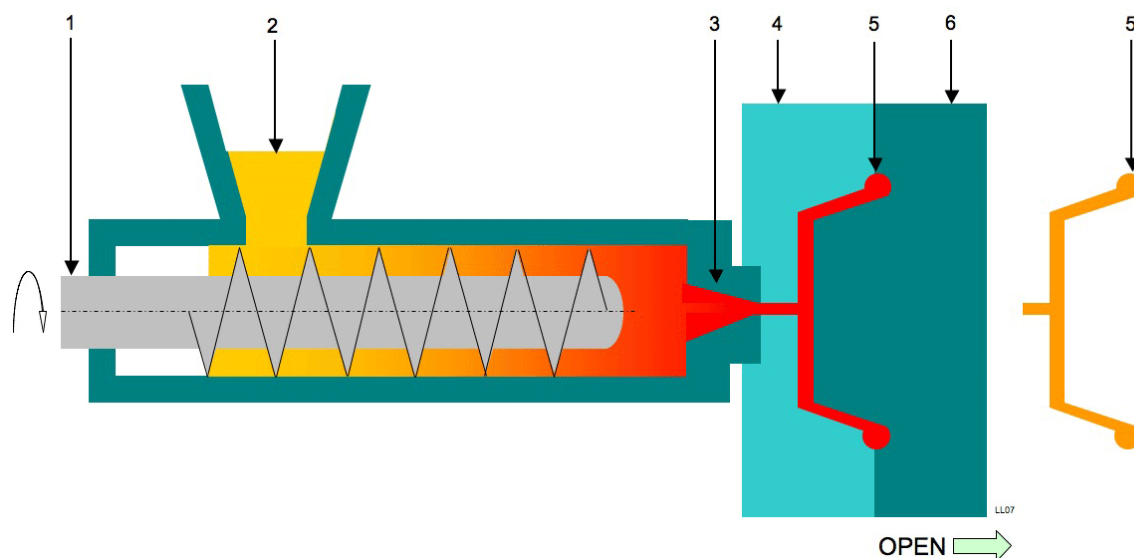
V současné době patří vstřikování plastů k nejrozšířenějším způsobům zpracování polymerů. Plastové vylisky mohou být složeny z několika homogenních i heterogenních materiálů. Vstřikovací stroje přinášejí velké úspory a podstatně zkracují výrobní cyklus.

### 1.1.1 Proces vstřikování

Vstřikovací lis využívá pohybu šneku k nabírání granulátu do plastifikační jednotky. V této jednotce se materiál předeheje a stlačením se zbaví bublin. Dále putuje vstřikovací jednotkou a postupně se taví. Jakmile dojde k roztavení dostatečného množství granulátu, přestane se šnek otáčet a začne působit jako píst. Tlakem šneku, je tavenina vstříknuta do formy, kde za pomoci vodního chlazení, postupně tuhne. Ve chvíli kdy je vylisek dostatečně tuhý, dojde k vyhození z formy a jeho volného dochladnutí.

### 1.1.2 Schéma vstřikovacího lisu

Na tomto obrázku (obr 1.1) je zobrazeno schéma lisovací jednotky pro vstřikování plastu.



Obr. 1.1 – Schéma vstřikovacího lisu: 1) Šnek 2) Násypka granulátu 3) Vstřikovací tryska 4) Pevná část formy 5) Dutina formy/Tvar vylisku 6) Otevírací část formy [1]

## 2 Obecné zásady pro tvorbu plastových dílů

Každý konstruktér by měl mít povědomí o doporučených zásadách, které souvisí s konstrukcí plastových dílů. Důsledná konstrukce přímo ovlivňuje kvalitu vstřikovaných dílů a je velmi důležité ji dodržovat. Části této kapitoly jsou převzaty z publikace VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ TERMOPLASTŮ, kterou na svém webu vystavují stránky <https://publi.cz> [10].

### 2.1 Tloušťka stěny

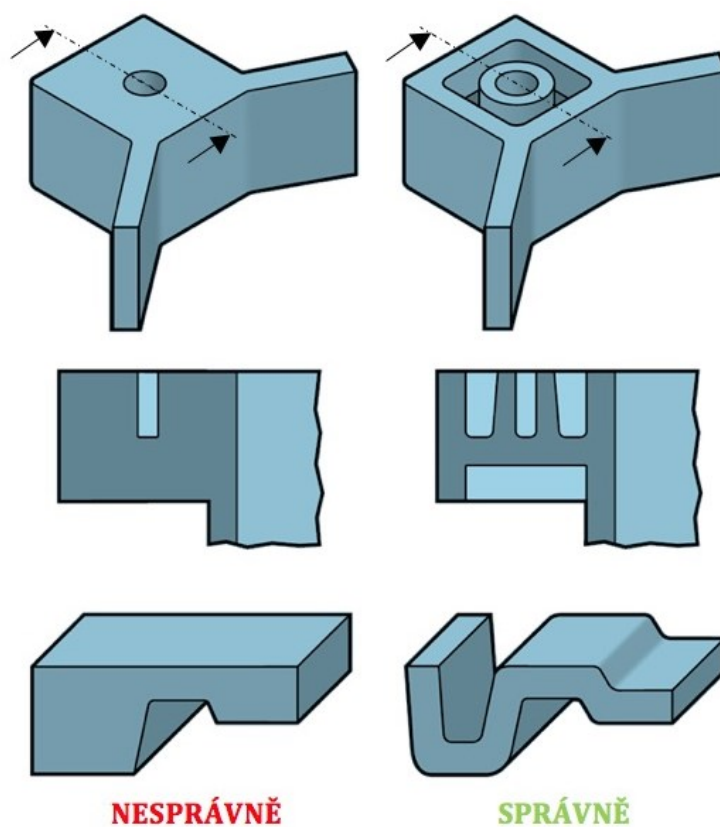
Tloušťka stěny významně ovlivňuje mnoho klíčových charakteristik plastového dílu. Jedná se zejména o mechanickou odolnost, celkový vzhled, zpracovatelnost a ekonomiku dílu. Výsledná tloušťka stěny je poté nejčastěji kompromisem mezi protikladnými požadavky, jako je pevnost a hmotnost nebo trvanlivost a náklady. Tloušťka stěny musí být zvolena velmi rozvážně, aby byly v co možná nejvyšší míře eliminovány případné úpravy vstřikovací formy, které jsou velmi nákladné a vedou ke komplikacím ve výrobě.

Každé navýšení tloušťky o 10% způsobuje zvýšení tuhosti přibližně o 33%. Zvyšování tloušťky stěny samozřejmě způsobuje zvýšení hmotnosti, doby cyklu a materiálových nákladů. Ke zvýšení tuhosti dílů je tedy lepší využití konstrukčních prvků – např. žebra, zakřivení či zvlnění.

Tyto prvky mohou zvýšit tuhost dílu stejně jako zvýšení tloušťky stěny při pouze velmi mírném zvýšení hmotnosti dílu, doby cyklu a materiálových nákladů

Velmi nízké tloušťky stěny mohou vést ke vzniku velmi vysokých vstřikovacích tlaků, vzhledovým vadám popř. problémům s plněním dutiny vstřikovací formy. Naproti tomu, větší tloušťky stěn prodlužují dobu cyklu a způsobují rovněž vzhledové vady v podobě propadlin povrchu v důsledku neefektivního dotlaku. Dále by měla být v souvislosti s tloušťkou dodržena následující pravidla:

- Vyhnout se návrhu oblastí s nižší tloušťkou stěny sousedící s oblastmi s vyšší tloušťkou stěny (viz obr. 2.1).
- Udržet maximálně rovnoměrnou tloušťku stěny (viz obr. 2.1).
- Vyhnout se častým změnám tloušťky z menší na vyšší apod.



Obr. 2.1 – Porovnání nesprávné a správné rovnoměrnosti tloušťky stěny.

## 2.2 Žebrování

Žebra představují možnost, jak dosáhnout vyšší pevnosti a tuhosti vstříkovaného dílu bez nutnosti celkového zvýšení tloušťky stěn. Dalším důvodem použití žeber může být např.:

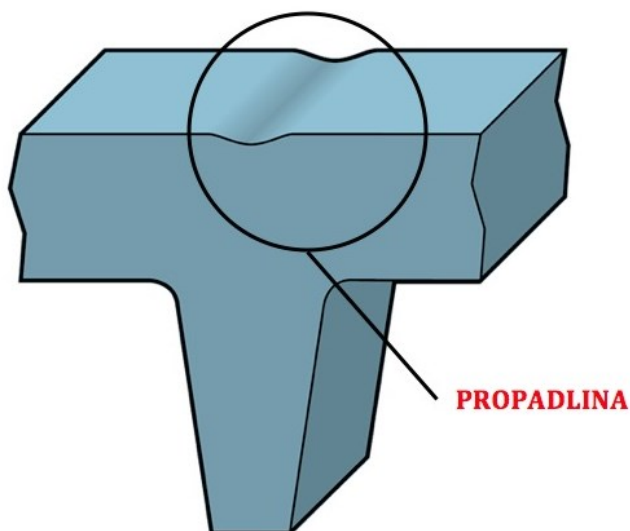
- Pozicování dílů při montáži.
- Zajištění lícování dílů.
- Dorazy či vedení pomocných mechanismů.

### 2.2.1 Návrh žebrování

Správný návrh žebra je definován následujícími parametry:

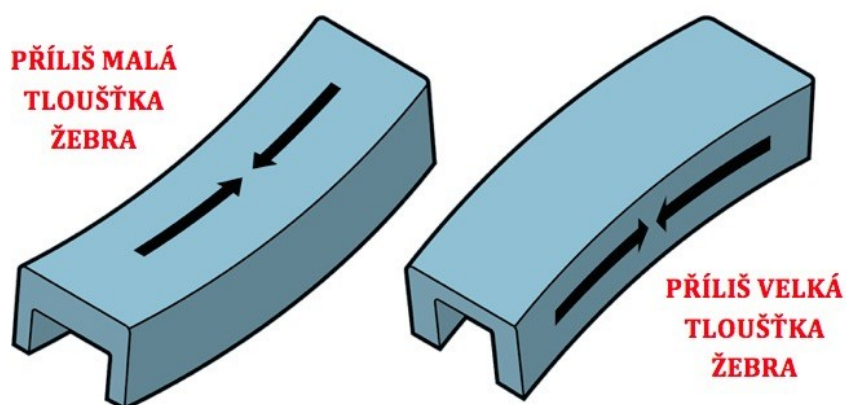
- Tloušťka.
- Výška.
- Umístění.
- Počet.
- Vyrobitelnost.

Žebra s větší tloušťkou obvykle způsobují propadliny na protilehlém povrchu vstřikovaného dílu (viz obr. 2.3). Vedle tloušťky žebra má vliv na vznik propadlin na protilehlém povrchu, ke kterému je žebro připojeno i materiál, hrubost povrchu, barva, vzdálenost k ústí vtoku a řada technologických parametrů vstřikování.



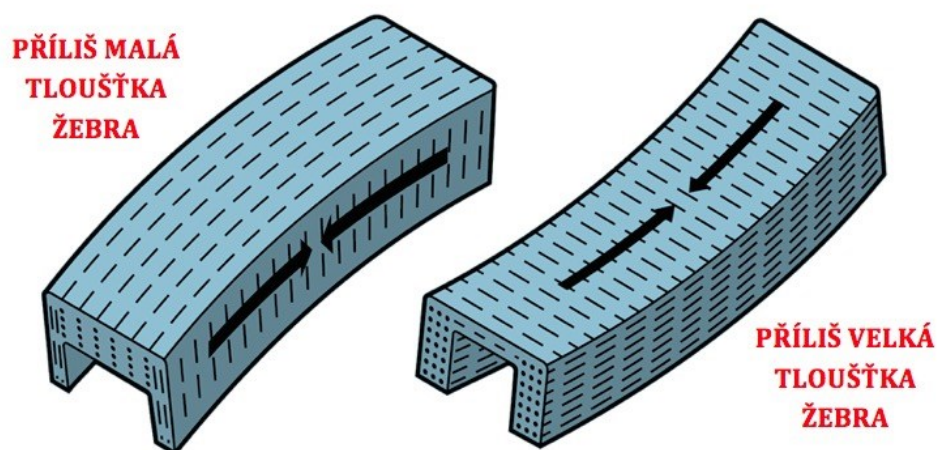
Obr. 2.2 – Vznik propadliny proti žebro.

V případě materiálů s rovnoměrným smrštěním ve směru tečení a kolmo na směr tečení mohou tenká žebra ztuhnout dříve než stěny, ke které jsou připojeny a mohou se smršťovat méně než základní stěna. V takovém případě lze očekávat deformaci žebrovaných povrchů (viz obr. 2.2).



Obr. 2.3 – Deformace žeber chladnutím.

V případě sklem plněných plastů, které mají vyšší smrštění v kolmém směru na směr tečení taveniny ve srovnání se smrštěním v podélném směru, může být výše uvedený efekt naprosto opačný (viz obr. 2.4). V tomto případě se tenká žebra plní od základny nahoru spíše než po délce žebra. Vyšší hodnota smrštění kolmého na směr tečení může poté způsobit deformaci konců žeber.

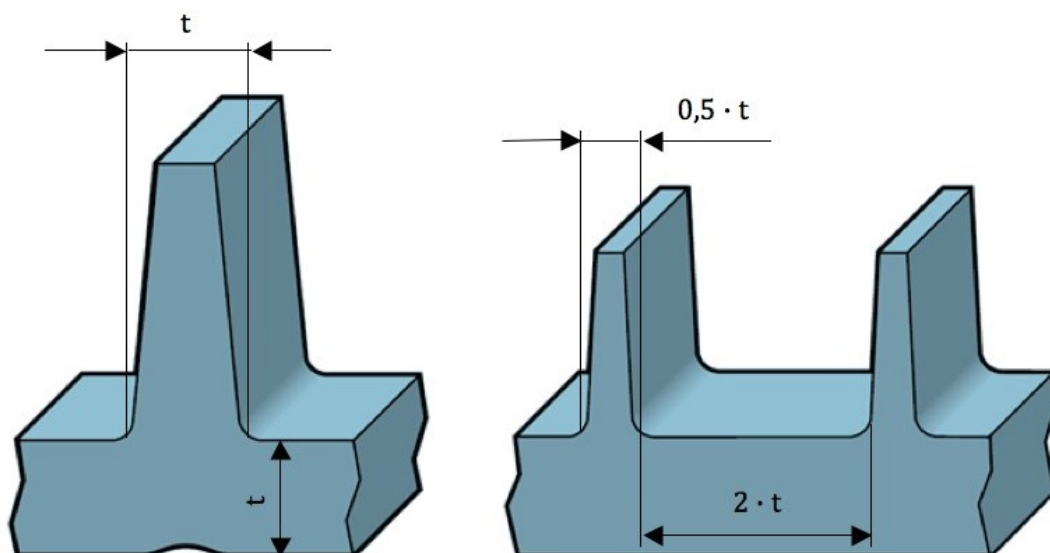


Obr. 2.4 – Deformace žeber chladnutím pro plněné plasty.

### 2.2.2 Velikost žeber

Obecně lze říci, že vyšší žebra poskytují vyšší vyztužující účinek. Aby bylo zabráněno problémům s plněním formy, odvzdušněním a odformováním, neměla by výška žebra přesáhnout trojnásobek tloušťky žebra u základny.

Vyšší žebra jsou náchylnější k porušení při zatížení. V případě, že je to možné, je lepší navrhnout více menších žeber s výrazně lepší vyrobiteľností a stejným vyztužujícím účinkem (viz obr. 2.5). V uvedeném případě je pouze nutné dodržení minimální vzdálenosti mezi dvěma sousedními žebry a to minimálně ve výši dvojnásobku tloušťky stěny.



Obr. 2.5 – Zvýšení počtu žeber.

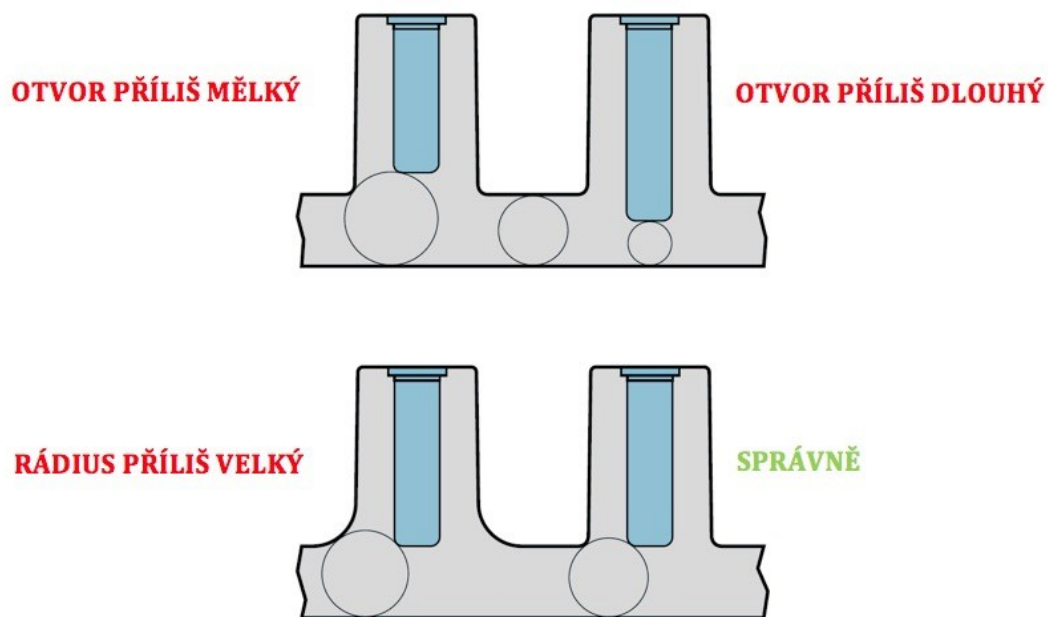
### 2.2.3 Počet žeber a jejich umístění

V případě opatření dílu větším počtem žeber z důvodu zamýšleného docílení rovinnosti dílu, může docházet k problémům s chlazením dílu a jeho deformacemi. Při návrhu je vhodnější postupovat tak, aby se postupně dala žebra přidávat a bylo tak dosaženo optimálních vlastností vstřikovaného dílu. Žebra, kterými je díl opatřen, aby byla zvýšena jeho tuhost, mohou způsobit pokles odolnosti dílu vůči rázovému namáhání.

## 2.3 Komínky

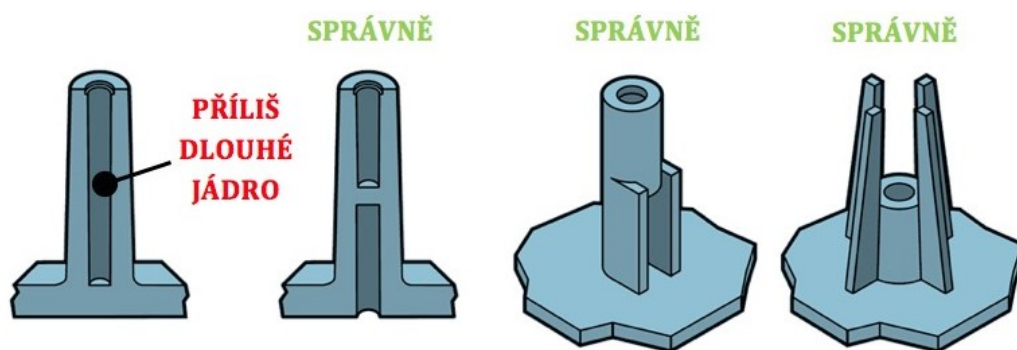
Komínky nacházejí uplatnění v mnoha konstrukcích jako bod pro připojení a montáž. Jedná se o válcové tvary s vnitřním otvorem navrženým tak, aby do něj bylo možné zašroubovat příslušný spojovací prvek – šroub, závitovou vložku apod. Přibližné pravidlo určující základní rozměr komínků je dvoj až dva a půl násobek průměru šroubu rovný vnějšímu průměru komínku (viz obr. 2.6). Přesněji určuje rozměry komínku výrobce šroubů v kombinaci s použitým typem plastu.





Obr. 2.6 – Návrh komínku.

Vyšší komínky – více než pětinasobek vnějšího průměru komínku – mohou způsobit problémy při plnění dutiny vstřikovací formy v jejich horní části či kvůli zvýšené tloušťce stěny u jejich základny. Navíc jádra, která tvoří vnitřní otvory komínků, mohou být problematická s ohledem na chlazení a mechanickou odolnost. Vhodně lze tento problém vysokých komínků řešit dvoustranným komínkem nebo bočními výztuhami (viz obr. 2.7).

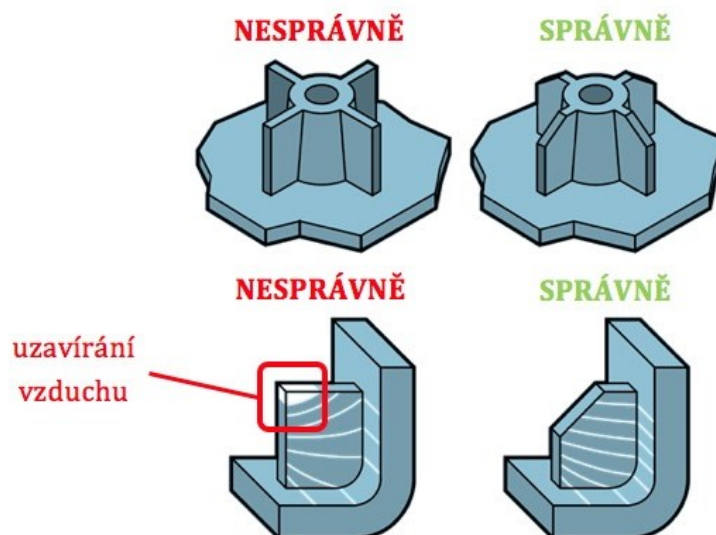


Obr. 2.7 – Způsoby řešení dlouhých komínků.

### 2.3.1 Výztuhy

Na obr. 2.7 je zobrazeno několik variant řešení výztuh. Stejně jako u žebrování platí, že tloušťka těchto výztuh by se měla pohybovat v určitém rozmezí ve vztahu k tloušťce stěny, na kterou je příslušná výztuha připojena. Vzhledem k jejich tvaru, se obvykle ve formě vytváří odpovídající tvary pomocí elektroerozivního obrábění. To může ovšem způsobit problém při jejich odformování, pokud by povrch formy nebyl následně vyleštěn a nebyl opatřen dostatečným úkosem.

Umístění výztuh obvykle komplikuje odvzdušnění, jelikož se jedná o slepé vnitřní otvory ve formě a vzduch tedy nemá kudy uniknout ve fázi plnění vstřikovací formy. Tomuto je tedy nutné přizpůsobit geometrii a umístění výztuh tak, aby byl přebytečný vzduch snadno vytlačitelný z prostoru výztuhy (např. viz obr. 2.8).

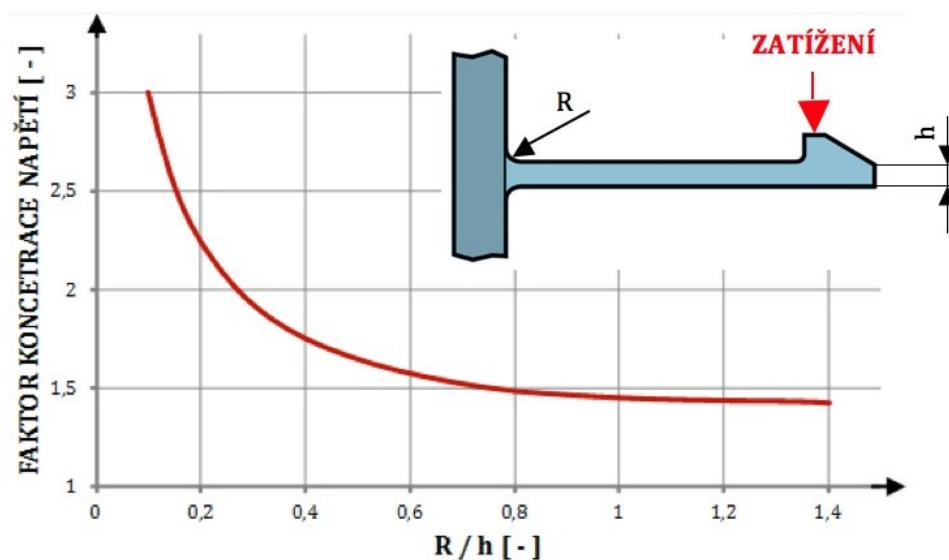


Obr. 2.8 – Výztuhy.

### 2.4 Ostré rohy

Plastový vstřikovaný díl by v zásadě neměl být opatřen ostrými rohy. V oblasti ostrých hran totiž dochází ke koncentraci napětí vyvolaného mechanickým zatěžováním a dochází tak ke snížení mechanické odolnosti plastového dílu.

Doporučená hodnota poměru  $R/h$  se pohybuje kolem 0,15 a představuje kompromis mezi mechanickou odolností ve většině aplikací a to i s ohledem na rázové zatížení (viz obr. 2.9).



Obr. 2.9 – Vliv zaoblení na koncentraci napětí.

## 2.5 Úkosy

Hlavním důvodem opatření určitých partií vstřikovaného dílu úkosy (boční stěny, žebra, komínky apod.), je zlepšení odformovatelnosti vstřikovaného dílu.

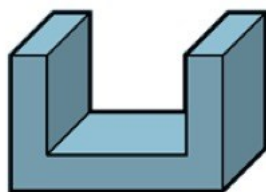
Základní pravidla při návrh úkosu jsou:

- Úkosy na všech površích rovnoběžných se směrem odformování.
- Standardní použití úhlu  $1^\circ$  plus úkos  $1^\circ$  na každých 0,2 mm.
- Minimální úkos  $0,5^\circ$ .

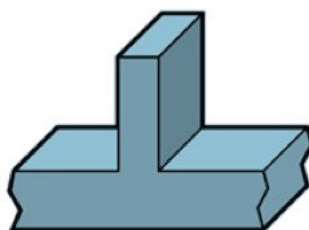
Menší úhel úkosu zvyšuje riziko poškození dílu při odformování nebo je nutné použití speciálních povrchových úprav povrchu formy.

## DÍLY BEZ ÚKOSU

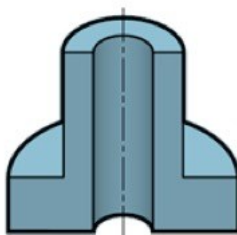
NESPRÁVNĚ



NESPRÁVNĚ

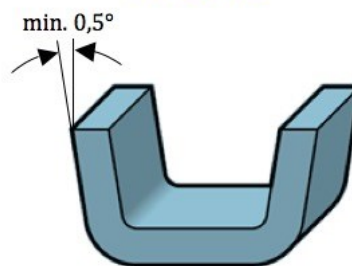


NESPRÁVNĚ

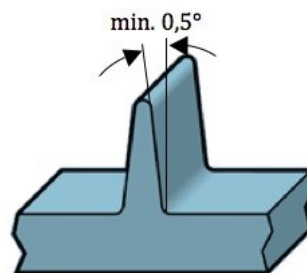


## DÍLY S ÚKOSEM

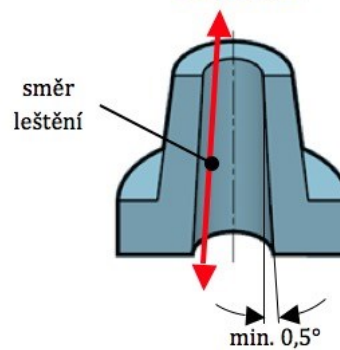
SPRÁVNĚ



SPRÁVNĚ



SPRÁVNĚ



Obr. 2.10 – Provedení úkosů. [2]

## 3 Plasty plněné skelnými vlákny

Plasty jsou syntetické polymery, u nichž vnější namáhání způsobuje deformace převážně trvalého charakteru. Za běžných podmínek jsou většinou tvrdé, často i křehké. Podle chování při zahřívání je dělíme dále na termoplasty a reaktoplasty. Dále se bude práce zabývat pouze termoplasty, jelikož jsou v práci řešeny.

### 3.1 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály, které při zahřívání přechází do plastického stavu a lze je tvářet. Do oblasti taveniny přechází zahřátím nad teplotu tání. Zpětným ochlazením pod tuto teplotu přechází opět do tuhého stavu. Změny, kterými materiál prochází, mají pouze fyzikální charakter a proces měknutí a tuhnutí je vratný. Termoplasty mohou být amorfni i semikrystalické. Typickými představiteli jsou polyetylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polymethyl-methakrylát (PMMA), polyoxymethylen (POM) apod.

#### 3.1.1 PP-GF30

V souvislosti s přidáváním plniv do polymerních matric hovoříme o tzv. kompozitech. Kompozity jsou vícesložkové materiály složené ze dvou či více fází, které se liší fyzikálními, mechanickými a chemickými vlastnostmi. Plnivo je nositelem výrazně lepších vlastností a jejím přidáním do matrice dojde k převážně pozitivní změně vlastností získaného kompozitu.

Materiál, kterým se zabývá tato práce, je PP-GF30, což je standardní polypropylen vyztužený 30% podílem krátkých skelných vláken.

Skleněná vlákna patří mezi nejrozšířenější plniva polypropylenu. Průměr vláken je 3,5-24  $\mu\text{m}$ . Krátká skleněná vlákna jsou označována jako GF, nebo SGF, délka vláken v granulátu je cca. 3 mm. Hlavním přínosem plnění krátkým vláknem je zvýšení modulu pružnosti a zvýšení teplotní odolnosti, která se může blížit až k teplotě tání. Dlouhá skleněná vlákna, označována jako LGF o délce vlákna cca 10 mm. Na rozdíl od krátkých skleněných vláken, nedochází při vstřikovávání u materiálů plněných LGF k ukládání vláken ve směru toku taveniny, ale ke vzniku trojrozměrné struktury (kostry dílu).

### 3.1.1.1 PP-SGF 30

Cílem zkoumání této diplomové práce je polypropylen s 30% krátkých skelných vláken - PP-SGF30 a tím se bude nadále zabývat, běžně se označuje pouze PP-GF30.

Klasický polypropylen bez plnění má smrštění ve všech směrech okolo 1,5% kdežto PP-SGF30 má smrštění v podélném směru vlákna zhruba 0,2% a ve směru kolmém na vlákno přibližně 1,1%.

Proto má tento materiál velmi nepředvídatelné vlastnosti, závisující zejména na poloze vtoku a s ní související orientací skelných vláken. Kdy je velmi složité tuto orientaci odhadnout. Na poloze vláken je poté silně závislá deformace materiálu kvůli rozdílnému smrštění v podélném a příčném směru na jednotlivá vlákna.

V následujícím obrázku (obr. 3.1) jsou základní vlastnosti konkrétního materiálu použitého pro analýzy.

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
<b>POLYMER PROPERTIES</b>			
<b>Melt Flow Rate</b>			
at 230 °C and 2.16 kg	11	dg/min	ISO 1133
<b>Density <sup>(1)</sup></b>	1130	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
<b>Filler content</b>	30	%	SABIC method
<b>Mould shrinkage <sup>(2)</sup></b>			
24 hours after injection moulding	0.6	%	SABIC method
<b>MECHANICAL PROPERTIES <sup>(1)</sup></b>			
<b>Tensile test</b>			
stress at break	93	MPa	ISO 527/1A
strain at break	3	%	ISO 527/1A
<b>Flexural test</b>			
Flexural modulus	6900	MPa	ISO 178/1A
<b>Charpy Impact Strength Notched</b>			
at 23 °C	12	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
<b>THERMAL PROPERTIES <sup>(1)</sup></b>			
<b>Heat deflection temperature</b>			
at 1.80MPa (HDT/A)	150	°C	ISO 75/A
<b>Coeff. of linear thermal expansion</b>			
-30 °C to 100 °C	40	µm/mK	ISO 11359-2

Obr. 3.1 – Materiálový list konkrétního PP-GF30. [3]

## 4 Stanovené cíle práce

Prvním úkolem této diplomové práce je analýza tělesa světlometu z hlediska deformací a stanovení jejich pravděpodobných příčin.

Dalším cílem této práce je vypracování určitých doporučení pro konstruování se zadaným materiálem PP-GF30 s ohledem na jeho specifické vlastnosti jako je například rozdílné smrštění v podélném a kolmém směru na vlákno nebo jeho zvýšená pevnost.

Posledním úkolem je vypracovat 3D modely s navrhovanými úpravami a na nich provést MoldFlow analýzy, dle kterých bude následně možné porovnat vliv provedených změn na deformaci housingů, kde bude možné porovnat změny provedené oproti původní geometrii.

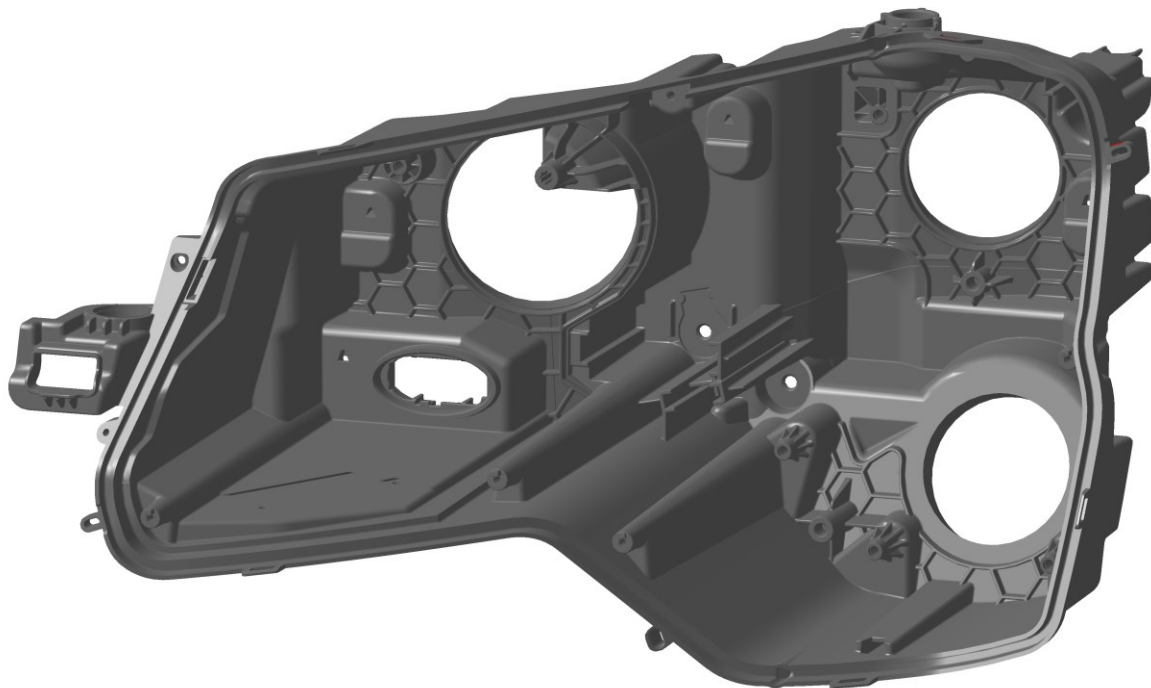
## 5 Současné řešení a jeho problémy

Při výrobě housingu světlometu, dochází k určitým nepřesnostem mezi CAD modelem a výsledným výliskem. Ty mohou být způsobeny deformacemi v materiálu, špatným technologickým postupem nebo například nepřesností vstřikovací formy. Tyto odchylky působí problémy při montáži, případně se daná nepřesnost projeví v průběhu životnosti světlometu v podobě výrazného opotřebení osazených komponent. Tato diplomová práce bude konkrétně zkoumat deformace na dvou tělesech světlometu, které se budou dále označovat jako Projekt 1 a Projekt 2.

Pro všechny analýzy byl stanoven osový systém: X – vodorovná osa (směr jízdy vozidla), Y – vodorovná osa (zprava doleva vozu) a osa Z – svislá osa.

### 5.1 Housing Projekt 1

Prvním zkoumaným případem je housing základní verze čelního světlometu pro Projekt 1 (viz obr. 5.1) vyrobený z materiálu PP-GF30. Na tomto housingu se objevila velká deformace ve směru osy Z. Ta značně zkomplikuje, nebo dokonce znemožní například montáž skla.

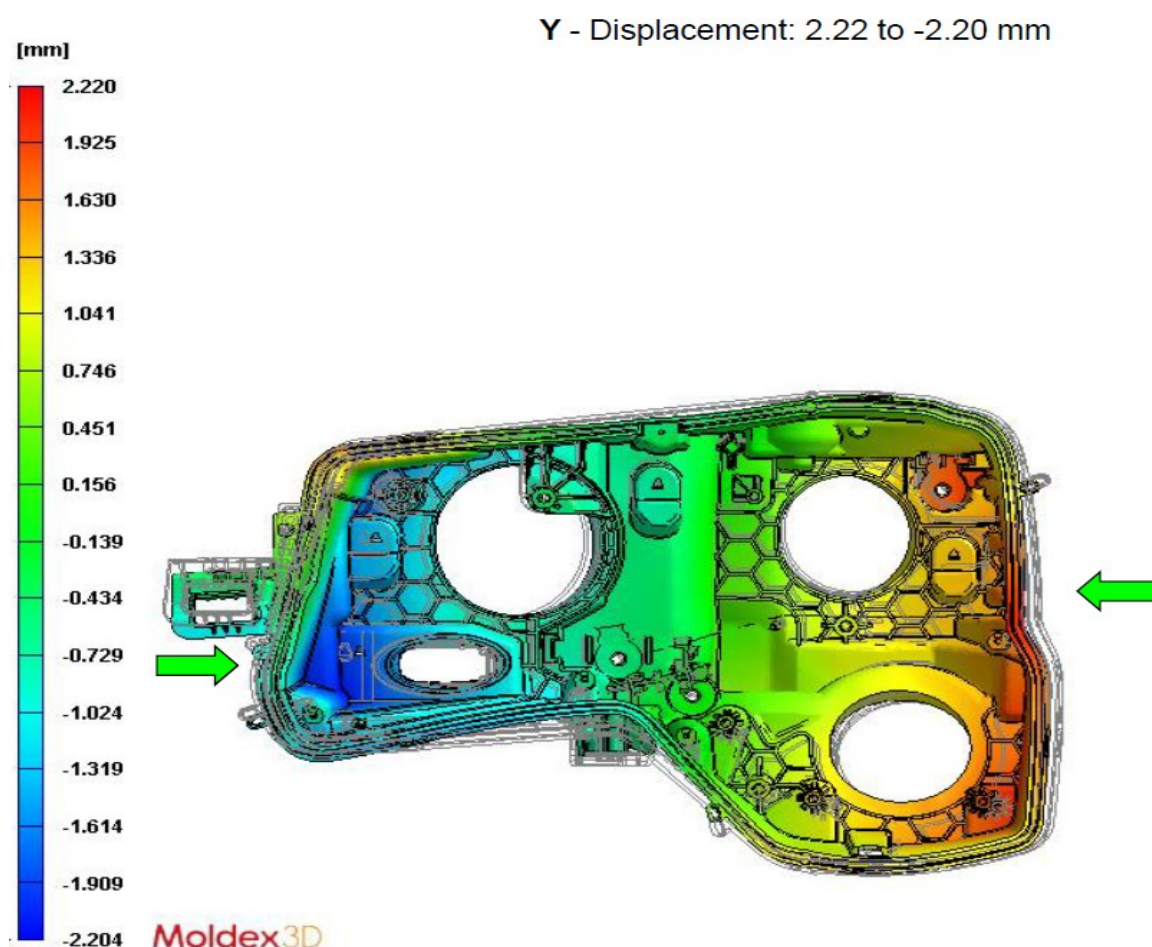


*Obr. 5.1 – Housing - Projekt 1.*



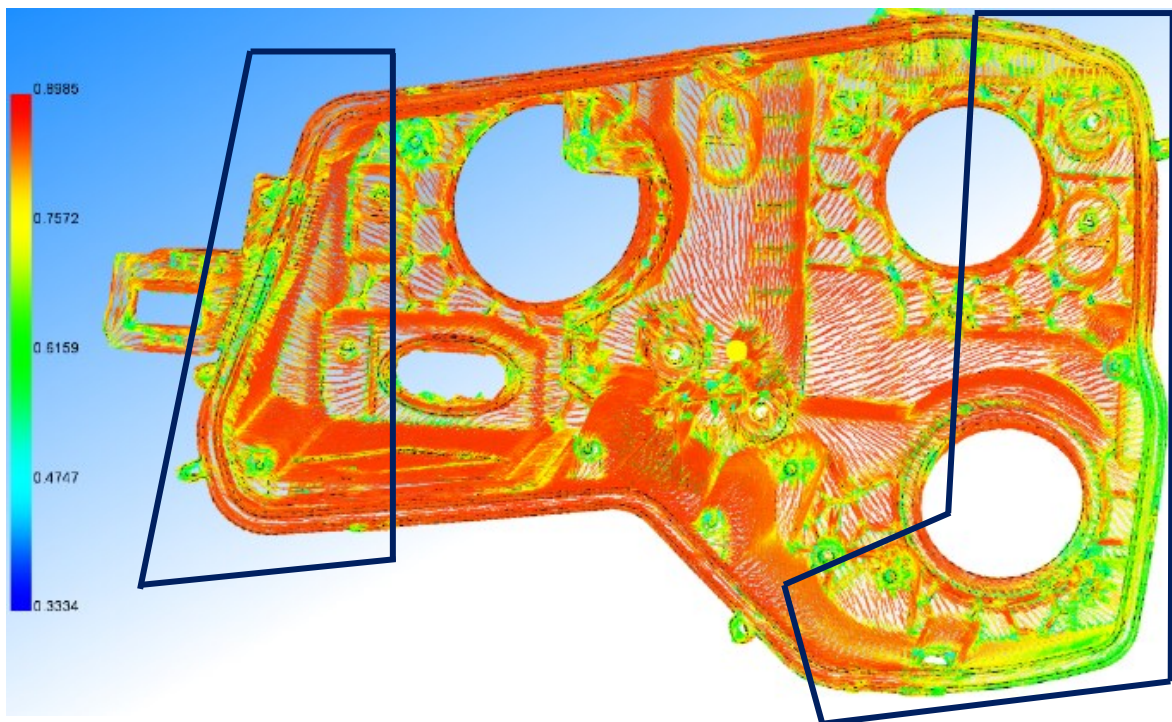
### 5.1.1 Deformace housingu Projekt 1 v ose Y

Deformace tohoto housingu v ose Y (viz obr. 5.2) je pravděpodobně způsobena kumulací skelných vláken a vytlačováním plastu v místech s větší členitostí povrchu (viz obr. 5.3). Další možností této deformace je smrštění zadní stěny housingu vyztužené žebry, právě kvůli nerovnoměrně širokým stěnám. Kde z vnější strany housingu je stěna hladká ale zevnitř je opatřena hexagonálními výztuhami, což způsobuje nerovnoměrné chladnutí materiálu (viz obr. 5.5).



Obr. 5.2 – Deformace housingu v ose Y-Projekt 1.

Následující zobrazení (obr. 5.3) ukazuje rozmístění skelných vláken v tělese světloometu. Červeně jsou zobrazena vlákna s původní orientací během plnění a podle rozložení jednotlivých vláken se barva mění přes žlutou po zelenou, což již značí poměrně velké rozbití a chaotické rozptýlení vláken.



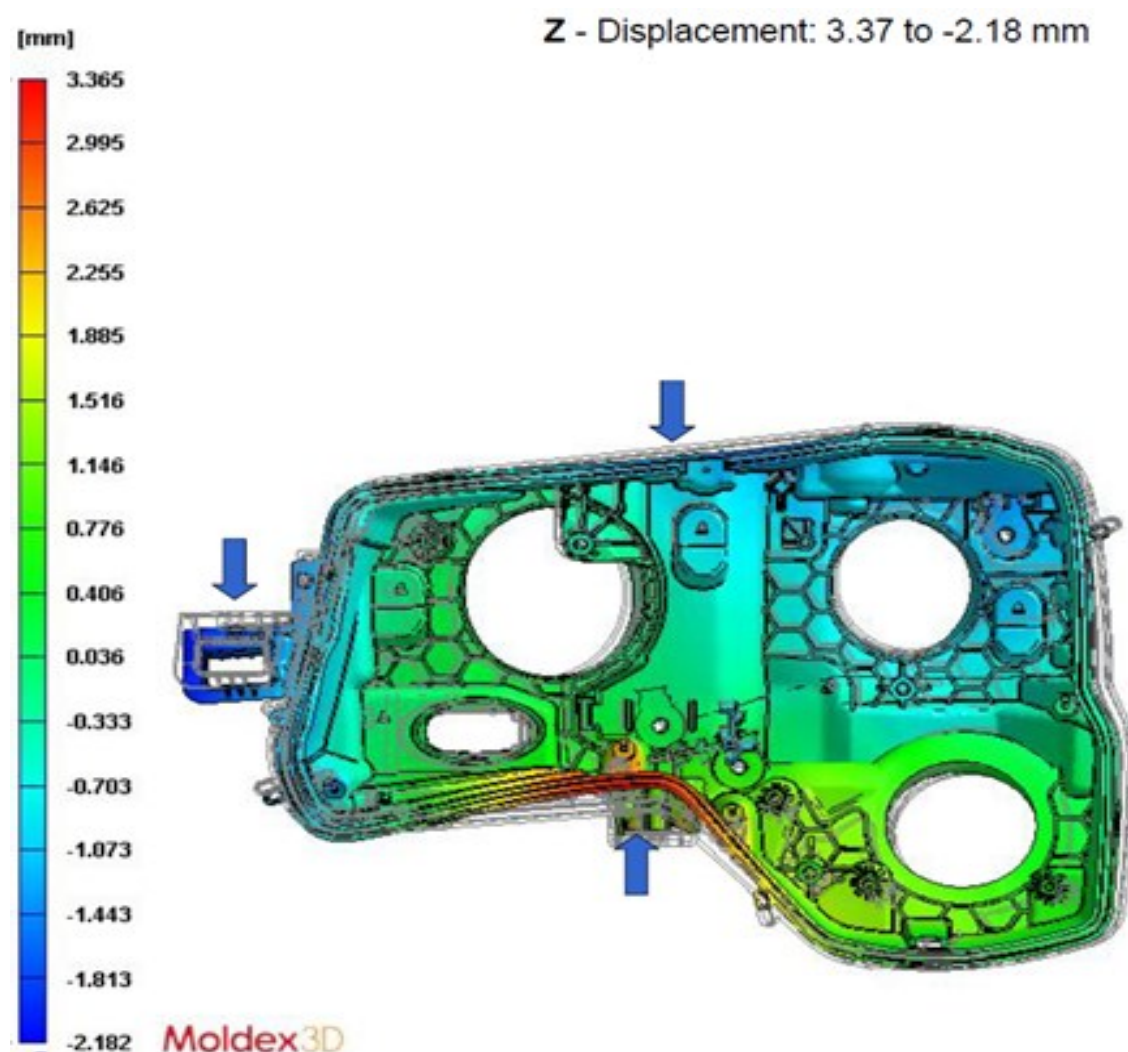
*Obr. 5.3 – Orientace skelných vláken v housingu pro def. v ose Y - Projekt 1.*

### **5.1.2 Deformace housingu Projekt 1 v ose Z**

Jedním z důvodů propadání lepicí drážky v horní části housingu může být nedostatečné podepření dlouhé hrany.

Deformace zaoblení ve spodní části housingu zřejmě vznikla působením vnitřních sil v materiálu PP-GF30 při relaxaci. Tento materiál se více smršťuje ve směru kolmém ke směru plnění formy potažmo směru tečení skelného vlákna, což pravděpodobně způsobuje tuto deformaci. Další možnou příčinou je nerovnoměrné chlazení způsobené nevhodně umístěnými žebry v kombinaci s jednostranným chlazením deformované oblasti (viz obr. 5.5).

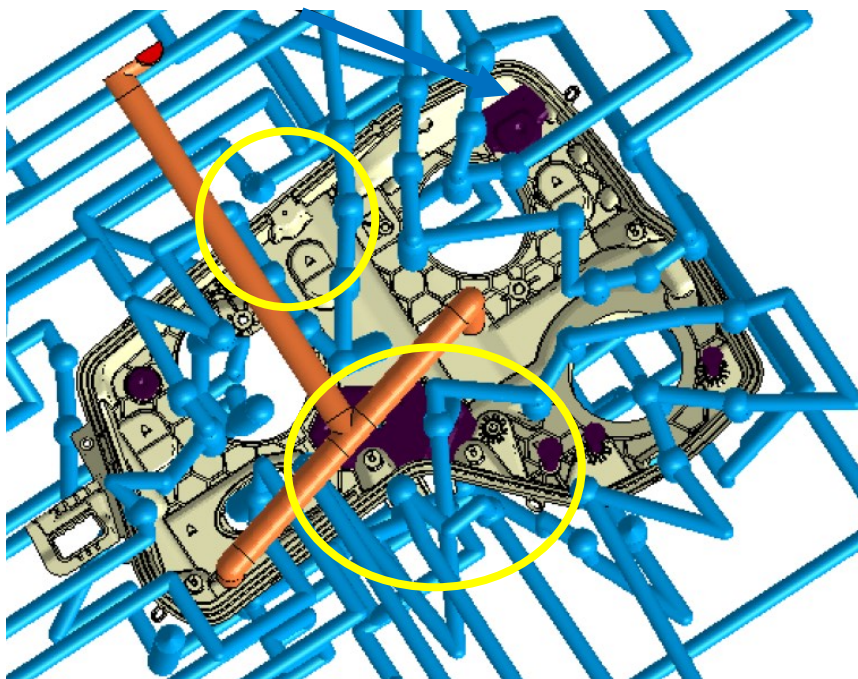
Posunutí lokátoru v levé části housingu je patrně způsobeno vlivem skupinové deformace se spodní částí housingu v kombinaci s jeho slabým vyztužením.



Obr. 5.4 – Deformace housingu v ose Z - Projekt 1.

Následující obrázek (obr. 5.5) ukazuje polohu vtoku a rozmístění chladících kanálů ve formě. S ohledem na deformování materiálů k teplejšímu povrchu je vidět nedostatečné chlazení vnitřních stran stěn housingu. U hladkých stěn bez navázaných prvků zvládne nejčastěji stěna chladnout rovnoměrně ovšem u stěn, na které jsou připojeny další prvky je chladnutí vnitřních stěn pomalejší a tak nejspíš vznikají deformace horní lepicí drážky i spodního rádiusu (viz obr. 5.4). Bohužel u spodního rádiusu je forma osazena šoupátkem pro odlisování určitého prvku a proto nelze tuto oblast oboustranně chladit. V této oblasti je proto vhodné použít konstrukční úpravu pro zmírnění vzniklé deformace. V horní části formy je možné upravit chlazení.

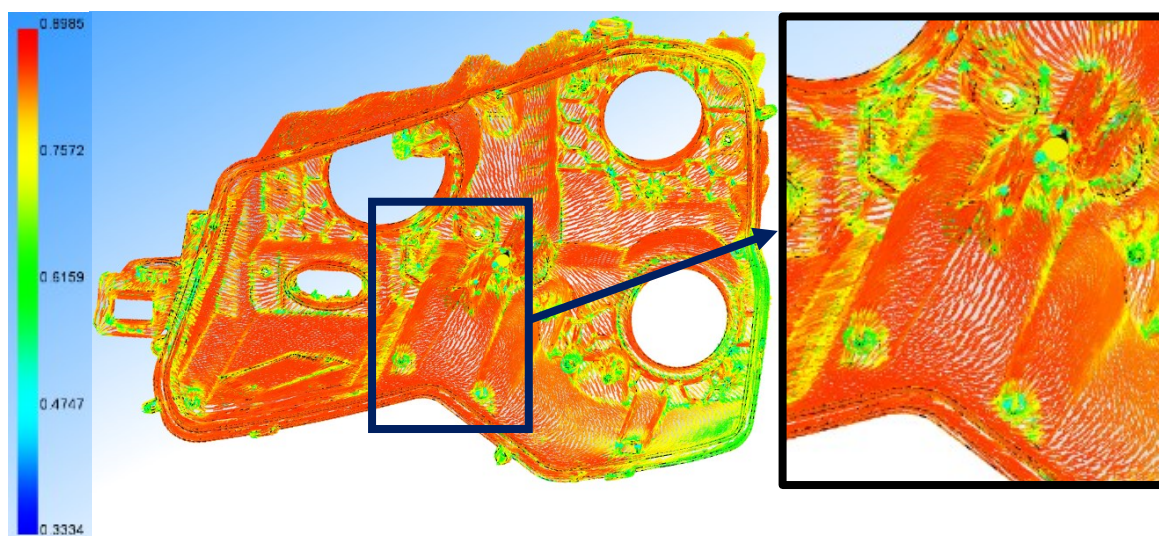




Obr. 5.5 – Chlazení housingu - Projekt 1.

Na následujícím snímku (obr. 5.6) je zobrazen housing Projektu 1 s orientací skelných vláken. Červená barva zde označuje laminární uspořádání vláken a postupný přechod po zelenou zobrazuje více chaotické zesíťování jednotlivých vláken.

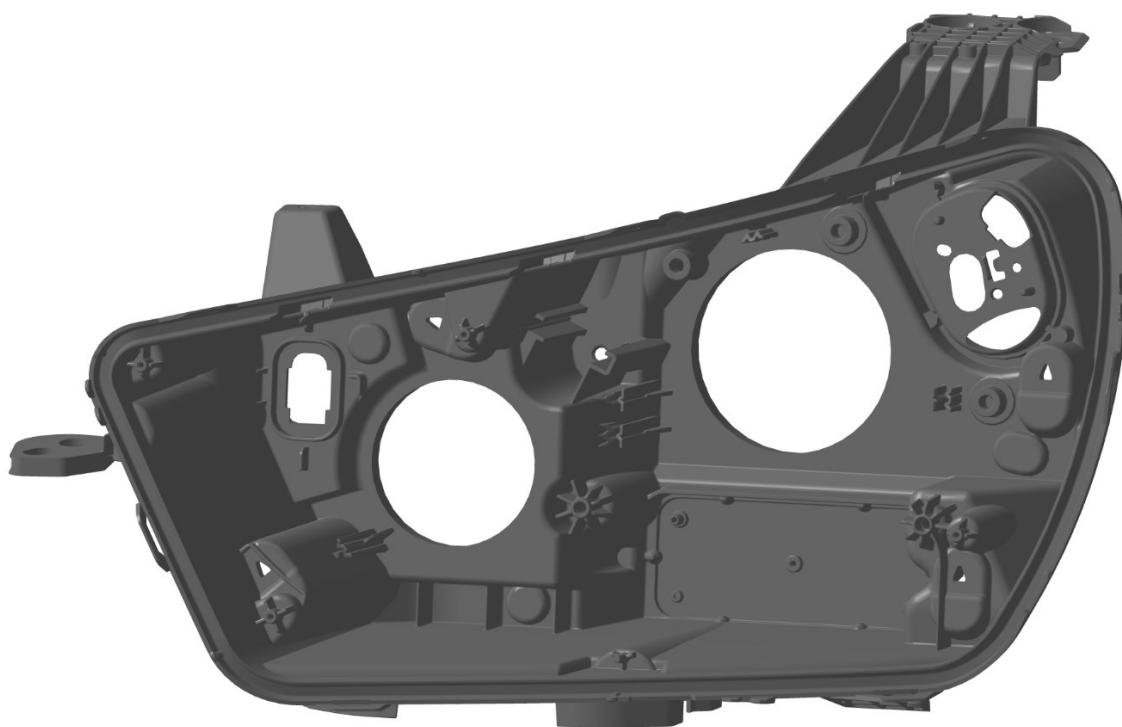
Pravá část obrázku ukazuje zvětšení oblasti spodního rádiusu, kde může být dalším důvodem pro vznik deformací směr tečení materiálu a s ním spojená orientace skelných vláken.



Obr. 5.6 – Orientace skelných vláken v housingu pro def. v ose Z - Projekt 1.

## 5.2 Housing Projekt 2

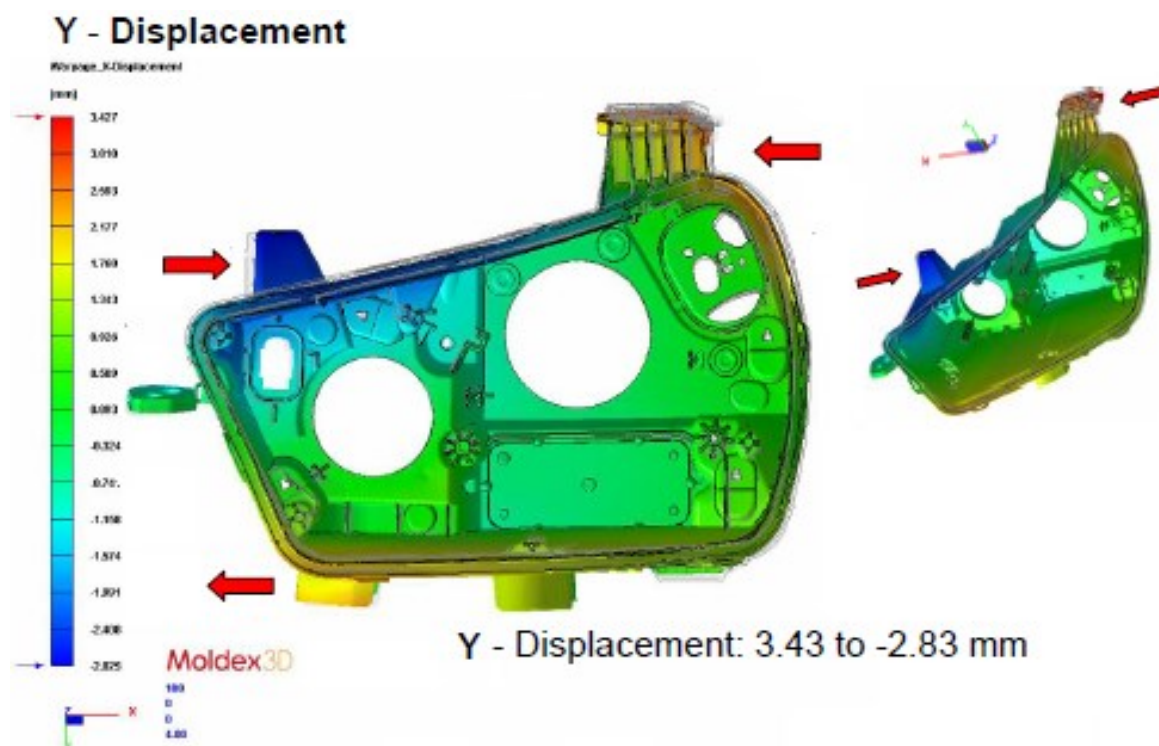
U housingu Projekt 2 (obr. 5.6) byly naměřeny poměrně velké odchylky mezi CAD modelem a konečným výliskem. Vzhledem k malé míře smrštění vnějších stěn housingu se jeví jako možná příčina nepřesnosti špatně vyrobená forma, která má špatně obrobenou dutinu pro vedení motorku nivelace.



*Obr. 5.6 – Housing - Projekt 2.*

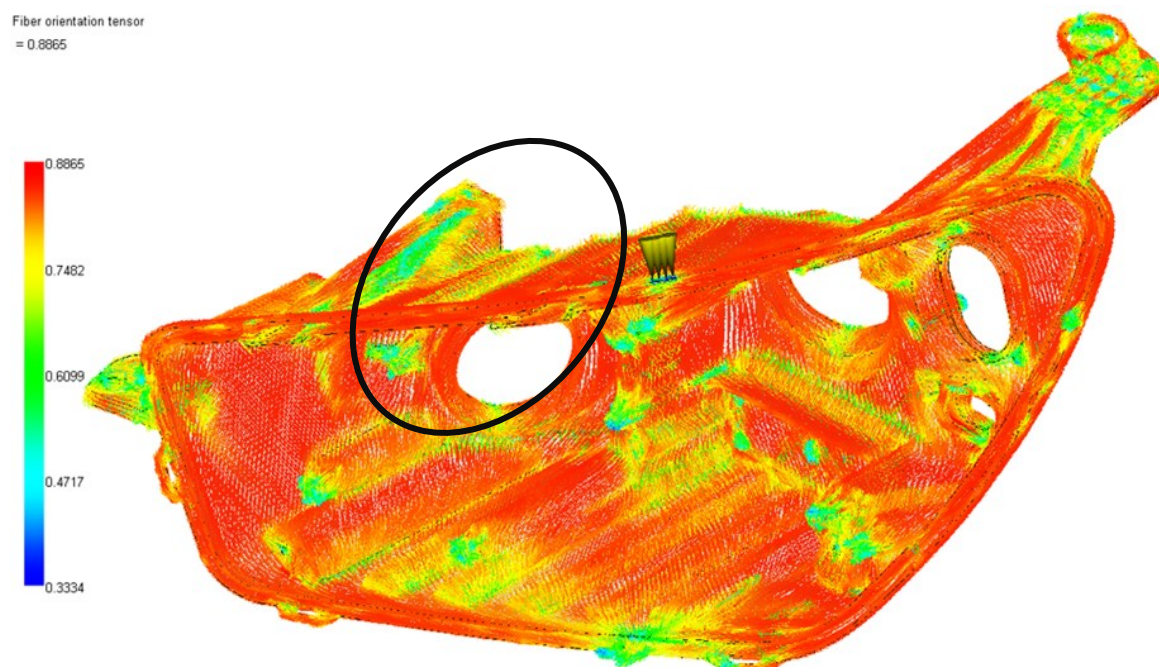
Na následujícím obrázku (obr. 5.7) je zobrazena MoldFlow analýza housingu Projektu 2.

Smrštění v pravém horním rohu housingu pravděpodobně vzniklo vlivem členitosti povrchu, kde nestejná tloušťka uvnitř a vně housingu vede k nerovnoměrné deformaci směrem k teplejšímu (hrubšímu) povrchu. Toto smrštění, v kombinaci s nedostatečným podepřením, patrně ovlivnilo i deformaci lokátoru na levé vnější straně housingu.



Obr. 5.7 – Deformace housingu v ose Y - Projekt 2.

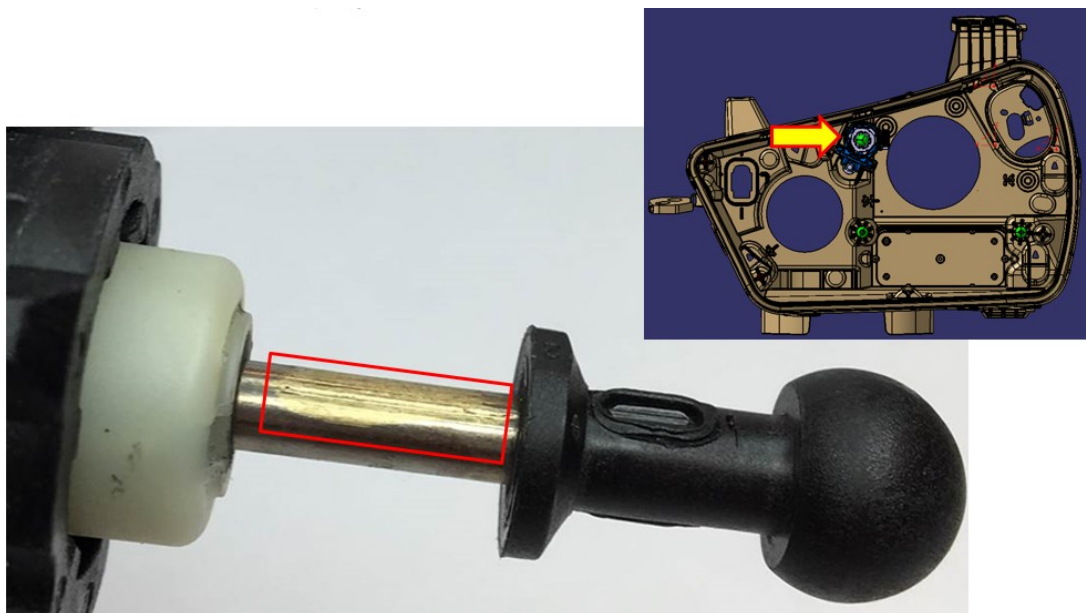
Dalším problémem je propadání horní lepicí drážky, ke kterému zřejmě dochází kvůli dlouhé nepodepřené hraně, případně může být způsobeno nerovnoměrně zesíťovanými vlákny v oblasti deformace (viz obr. 5.8), které se smršťují v ose Y.



Obr. 5.8 – Orientace skelných vláken v housingu - Projekt 2.



V tomto případě došlo po určité době provozu k vydírání osky motorku nivelace světel radiální silou (viz obr. 5.9), která vzniká nesouosostí daných komponent v reálném výlisku. Tuto nesouosost zapříčinilo posunutí motorku nivelace s kulovým kloubem vlivem deformace jeho vedení po odlisování.



*Obr. 5.9 – Poškození osky v housingu - Projekt 2.*

## 6 Snížení deformací

Deformace sklem plněných plastů, je komplexní problém, který je ovlivněn mnoha rozdílnými technickými parametry, materiálovými vlastnostmi a také konstrukcí formy. Z tohoto důvodu je velmi náročné predikovat možné deformace a náležitě jim zabránit.

### 6.1 Technologické řešení

Deformace po odlisování je možno částečně omezit změnou technologie výroby daného dílu.

Jedna z možností je například uniformní chlazení formy, což by znamenalo ideální rozložení chladicích kanálů ve formě, tak aby rovnoměrně chladily celou vstřikovací komoru. Toto je v praxi téměř nereálné, jelikož je nutné do formy osadit obslužné prvky, jako jsou vtokové body, vyhazovače, šoupátka, odvzdušnění a podobně. Ale je důležité dosáhnout co nejrovnoměrnějšího pokrytí dutiny. Také zajištění stejné teploty ve všech kanálech je poměrně náročné.

Pro housinky je vhodnější vstřikovat do teplé formy, což vede k pozvolnému chladnutí taveniny. Dalším způsobem je vstřikování do studené formy. Při tomto způsobu vstřikování se dosáhlo velmi malých hodnot smrštění, jelikož ihned po vstříknutí do formy dojde u taveniny k takzvanému „zamrznutí“, ovšem po následném zvýšení teploty (například ve vozidle) dojde k dorelaxování materiálu a jeho následné deformaci. Proto je pro tepelně namáhané díly vhodnější teplé vstřikování.

Další možností je vstřikování pomocí dvou vtoků namísto jednoho, což vede k lepší distribuci taveniny a rovnoměrnějšímu chladnutí, a to má za následek snížení deformací. Ovšem zde je nutné zohlednit, že při použití dvou vtoků vzniká problém se spojením dvou hranic taveniny, to může vést ke studenému spoji a vzniku deformace případně i praskliny. Může také dojít k uzavírání vzduchu mezi hranicemi. Vzniká i problém se vzájemným časováním vstřiků, kde je náročné sladit vstřiky tak, aby došlo k rovnoměrnému naplnění formy.

Výslednou deformaci lze také ovlivnit přidáním dalších složek. U materiálu PP GF 30 se podařilo dosáhnout výrazně nižších deformací přidáním práškové slídy. Slída dokáže urychlit dobu krystalizace a je možné s ní i při stejném čase relaxace dosáhnout



lepší relaxace materiálu a tím menších deformací. Ovšem vede k navýšení ceny materiálu.

Posledním z technologických způsobů zmírnění deformací je prodloužení doby relaxace v temperované formě. U housingu Projektu 1 bylo dosaženo citelného snížení deformací u chlazení ve formě po dobu 4 minut, ovšem v praxi je tato doba výrazně kratší - zhruba 30 vteřin a není z ekonomických důvodů možné ji výrazně prodlužovat.

## 6.2 Konstrukční řešení

Jelikož je deformace sklem plněných plastů závislá převážně na orientaci vláken v tavenině, je nutné brát při konstrukci zvýšený ohled právě na tento aspekt. S ohledem na polohu vstřiku je možné orientačně odhadnout směr tečení taveniny a orientaci vláken.

U polypropylénů s přidavkem skelných vláken dochází ke smrštění ploch směrem k teplejší straně, což je nejčastěji strana s větším množstvím materiálu (např. s žebrováním). Proto je vhodné vyvarovat se při navrhování nestejně širokých stěn.

Dalším problémem PP-GF30 je chaotické zesíťování vláken, které vede k nepředvídatelným deformacím. Tomuto jevu se dá částečně předejít použitím větších rádiusů, které nekladou překážku v toku vláken. V místech kde toto opatření nelze provést dochází často ke kumulaci vláken. Velkým problémem jsou např. vrcholky žeber, kde může dojít k vytlačování plastu a zkřehnutí výlisku.

Posledním prvkem jsou žebra nebo jiná tvarová zesílení. Žebra jsou velmi výhodná, jelikož není k zesílení potřeba vytvářet hrubé stěny, ale stačí danou oblast pouze vyztužit těmito žebry. Díky tomu dochází k úspoře materiálu a také hmotnosti. Tvarová zesílení se dají také využít například jako vedení pro osazené komponenty, nebo jako podpěry namáhaných dílů.

## **7 Konkrétní konstrukční úpravy a jejich vliv na deformace**

Jedním z úkolů této diplomové práce bylo vypracovat konstrukční zásady pro zmírnění deformací. V první řadě je třeba určit důvod vzniku konkrétní deformace, což není vůbec jednoduché. Deformaci může způsobit hned několik faktorů, jako je například špatné chlazení formy, nestejná tloušťka stěn výlisku, nedostatečná rekrystalizace materiálu a mnoho dalších parametrů.

V této části práce se budu věnovat pouze konstrukčním úpravám housingu, změně polohy vstřikovacího bodu a jejich vlivu na deformace.

Veškeré úpravy modelů jsem prováděl v programu CATIA V5 a analýzy jsem vytvářel v programu Autodesk MoldFlow Insight 2017.

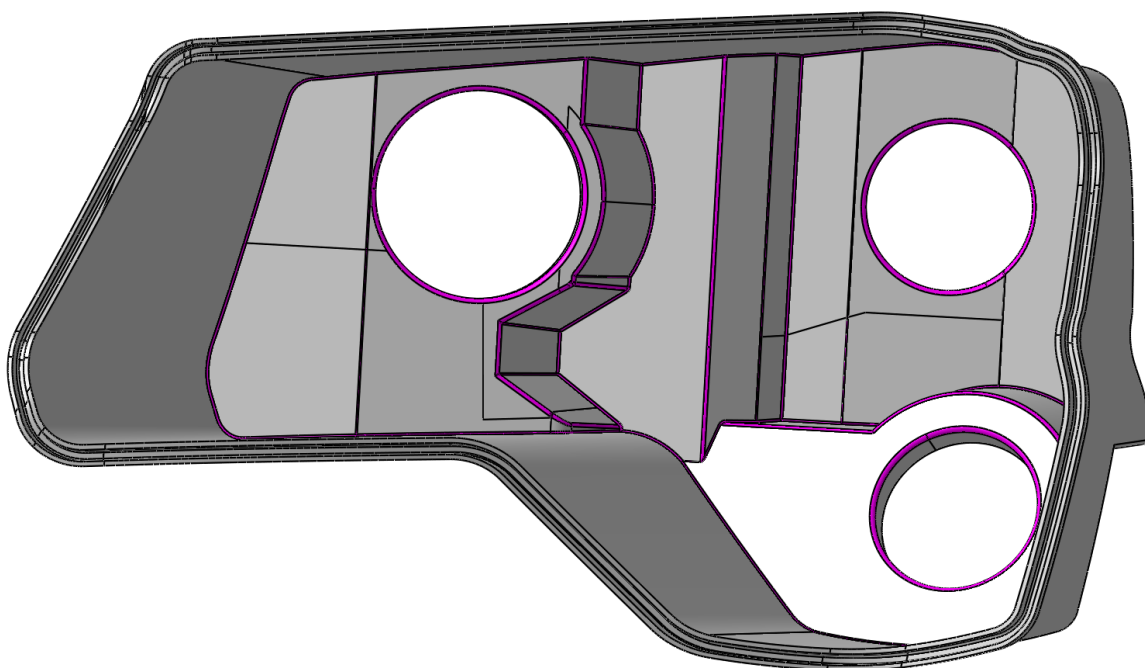
Pro svou diplomovou práci jsem z mnoha provedených úprav vybral pouze řešení s největším vlivem na deformace, nebo s neočekávaným výsledkem.

### **7.1 Zvětšení rozměru rádiusů**

Další z možností jak zlepšit tok taveniny ve formě a s tím spojené deformace, je zvětšení rádiusů. Tato úprava by měla mít citelný přínos při požití u sklem plněných materiálů, jelikož mohou vlákna volně téct a nedochází tak k jejich tříštění a chaotickému propletení při kontaktu s ostrými přechody.

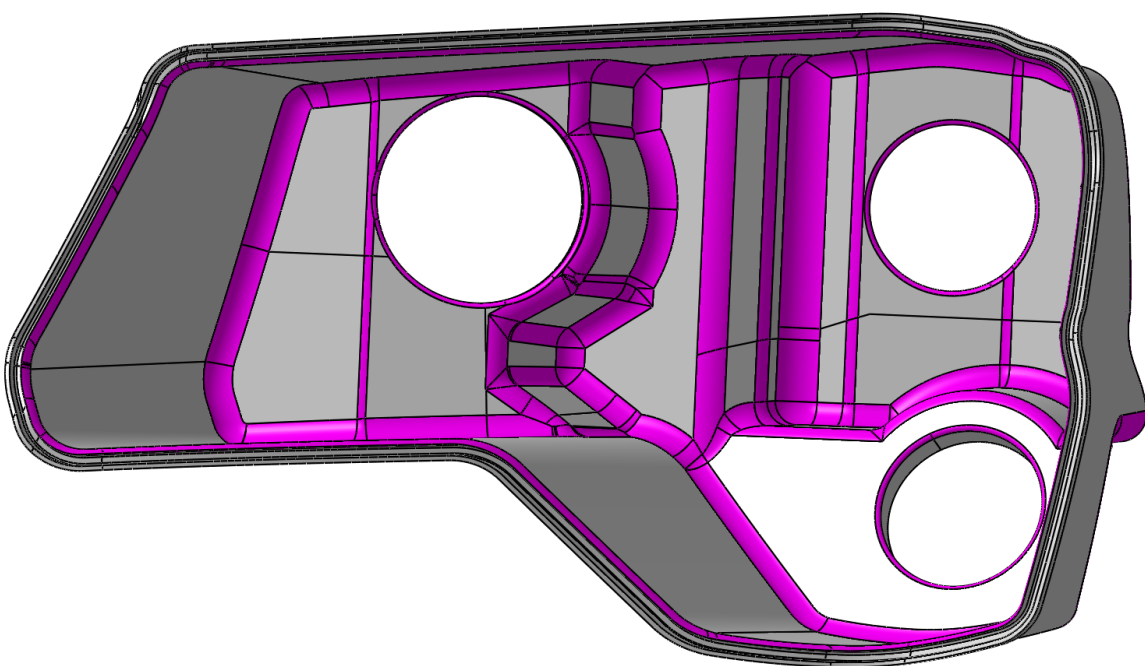
Pro tuto analýzu jsem z modelu vypustil veškeré prvky, které by mohly narušovat vliv rádiusů na tok taveniny formou a změnit tak výsledné deformace.

Na následujícím snímku (obr. 7.1) je vidět čistý housing bez připojovacích prvků, vyztužení a dalších komponent. Tento zkušební model je osazen vnitřními rádiusy 1 mm a vnějšími rádiusy 2 mm. Tyto rozměry jsou běžným standardem a měly by pravděpodobně vést k horšímu proudění taveniny, s tím spojeným chaotickým síťováním skelných vláken a následnému vzniku deformací.



*Obr. 7.1 – Housing s malými rádiusy - Projekt 1.*

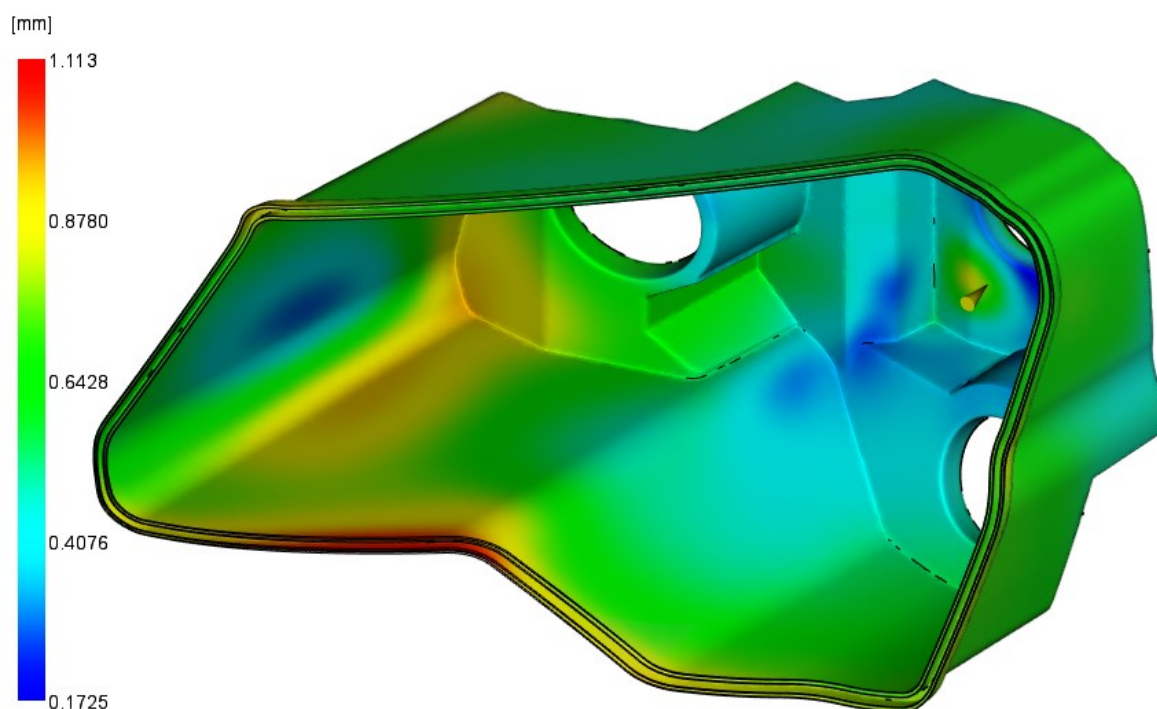
Další obrázek (obr. 7.2) zachycuje model housingu se zvětšenými rádiusy, kde jsou vnitřní rádiusy o rozměru 10 mm a vnější 12 mm. Takto velké rádiusy se běžně nepoužívají z důvodu úspory prostoru, jelikož je housing osazen mnoha komponenty jako jsou například reflektory a jejich elektronika a prostoru je ve většině aplikací nedostatek.



*Obr. 7.2 – Housing se zvětšenými rádiusy - Projekt 1.*

Prvním analyzovaným objektem byl housing s malými rádiusy (obr. 7.1), na kterém jsem provedl analýzu deformací po relaxaci materiálu (obr. 7.3). Tato studie ukázala největší deformaci přibližně 1,1 mm ve spodním rádiusu a další zvýšenou deformaci v levém spodním rádiusu okolo 0,9 mm.

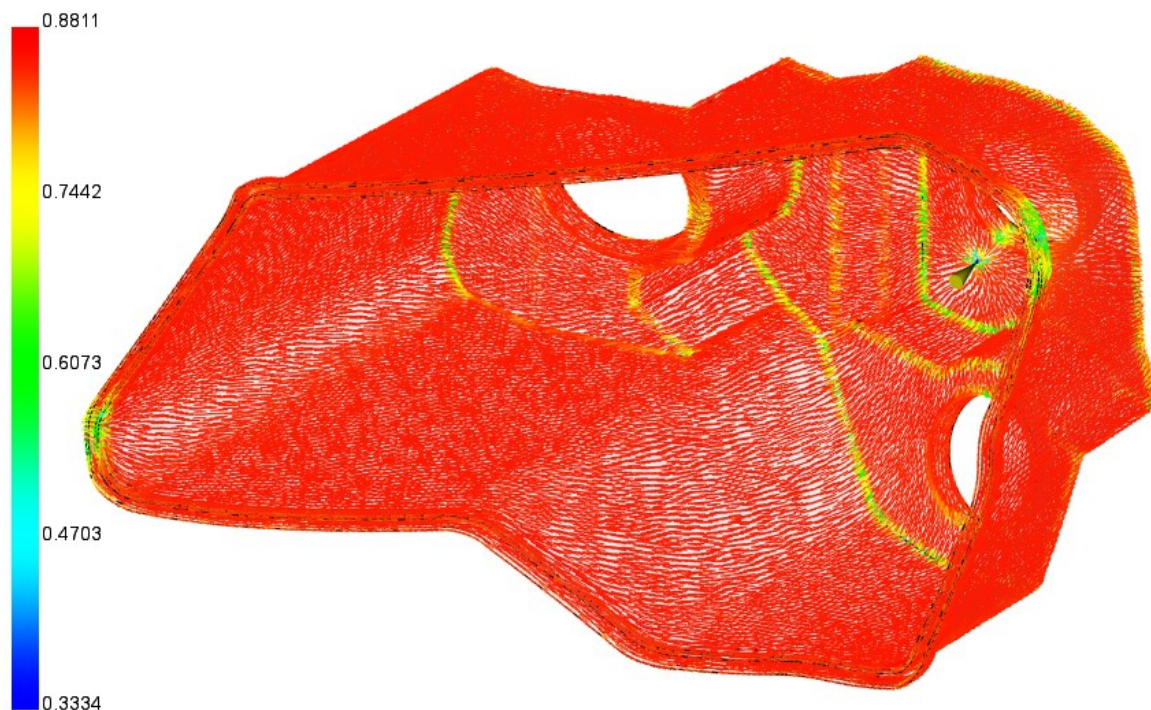
Tato analýza slouží pouze k porovnání rozdílů mezi vnitřními rádiusy velikosti 1 a 10 mm, proto je housing zbaven veškerých prvků jak jsou komínky pro šrouby, vedení, žebra a další.



*Obr. 7.3 – Deformace housingu s malými rádiusy - Projekt 1.*

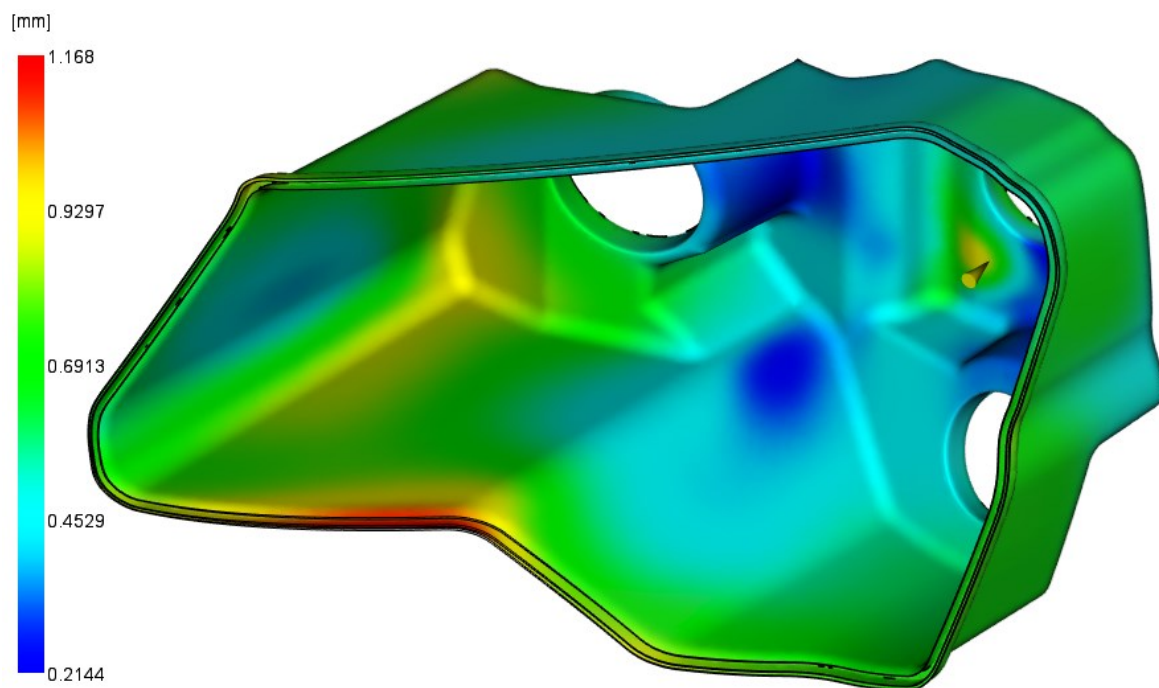
Další provedenou analýzou je tok vláken v modelu s malými rádiusy (obr. 7.4). Tato analýza ukázala, že model klade zvýšený odpor právě v oblasti těchto rádiusů a dochází v nich k poměrnému zesíťování vláken okolo hodnoty 0,6.

Hodnota zesíťování vláken ukazuje stupeň orientace vláken na konci vstřikovacího procesu, kdy 1 je laminární proudění s rovnoběžnými vlákny a 0,1 je jejich téměř kolmá poloha.



*Obr. 7.4 – Orientace vláken pro housing malými rádiusy - Projekt 1.*

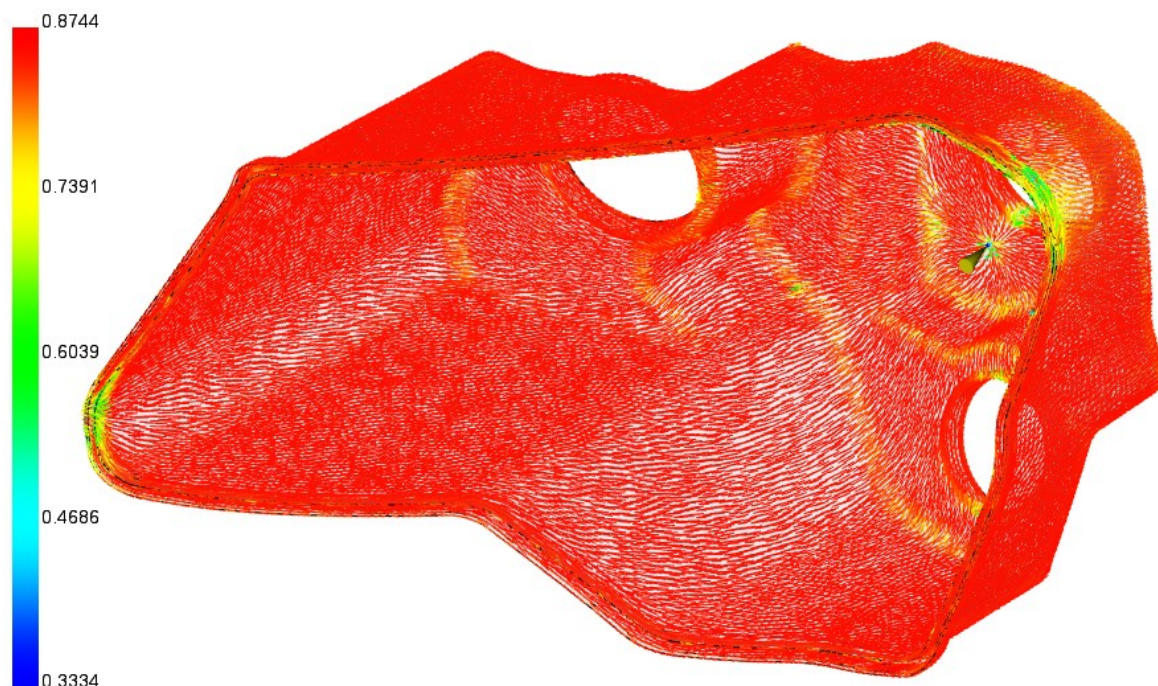
Na následujícím snímku (obr. 7.5) je zachycena analýza housingu s vnitřními rádiusy o velikosti 10 mm. Tato analýza přinesla velmi překvapivé výsledky, jelikož zvětšení rádiusů nemělo na výslednou deformaci téměř žádný vliv.



*Obr. 7.5 – Deformace housingu s velkými rádiusy - Projekt 1.*



Housing se zvětšenými rádiusy (obr. 7.6) klade viditelně menší odpor a dochází k rovnoměrnějšímu proudění vláken v oblasti těchto zaoblení s hodnotou zesíťování okolo 0,8. Jelikož ale nedochází ke změně orientace vláken, nedochází ani k výrazně rozdílným deformacím vzhledem k modelu s malými rádiusy (obr. 7.4).



*Obr. 7.5 – Orientace vláken pro housing velkými rádiusy - Projekt 1.*

Tato změna velikosti rádiusu se ukázala jako neefektivní z hlediska deformací. Tok vláken je sice plynulejší, ale také bez vlivu na deformace, což je překvapivé vzhledem k vlastnostem PP-GF30 a obecnému předpokladu, že větší zaoblení vedou k menším deformacím.

Malé rádiusy mají ovšem nevýhodu v nižší mechanické odolnosti. V oblasti ostrých hran může dojít ke koncentraci napětí mechanickým zatěžováním a tím ke snížení mechanické odolnosti daného housingu (viz kapitola 2.4).

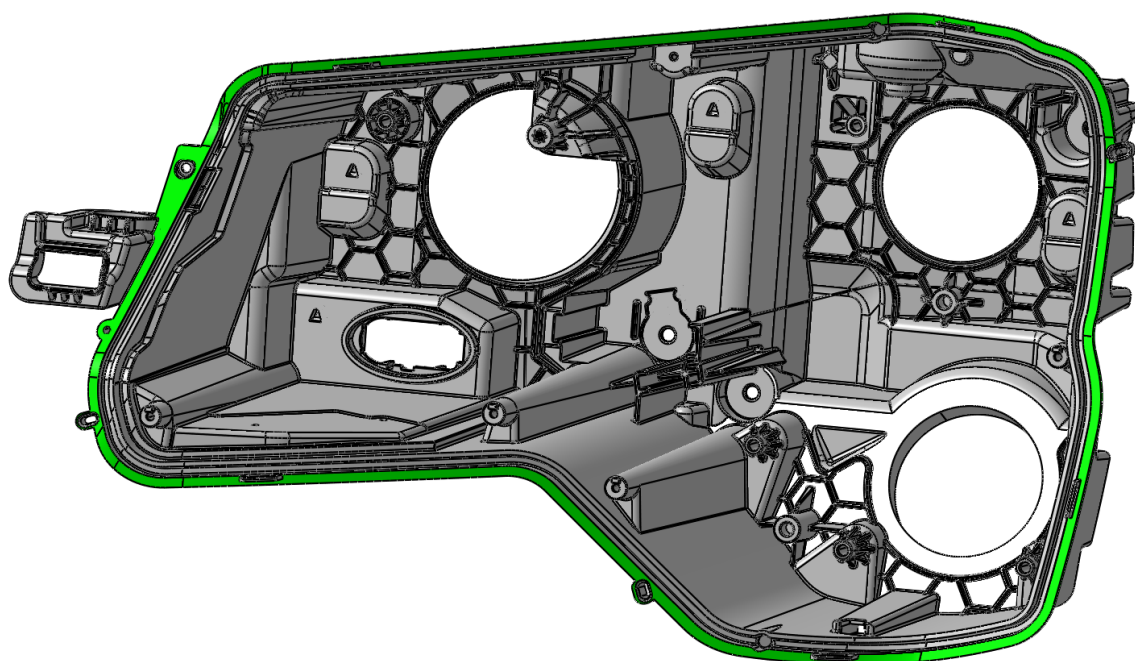
Výsledný rádius by tedy měl být kompromisem mezi dostatečnou mechanickou odolností a úsporou prostoru důsledkem menšího zaoblení.

## 7.2 Přidání obvodového lemu

Pro zesílení skeletu je možné přidat po obvodu housingu souvislé žebro. Toto žebro bude sloužit podobně jako falcování u plechů a mělo by vést k zesílení struktury. Ovšem i tato úprava má svá omezení, jako jsou například zástavbové rozměry světlometu, tento lem by totiž mohl kolidovat s okolními částmi vozu.

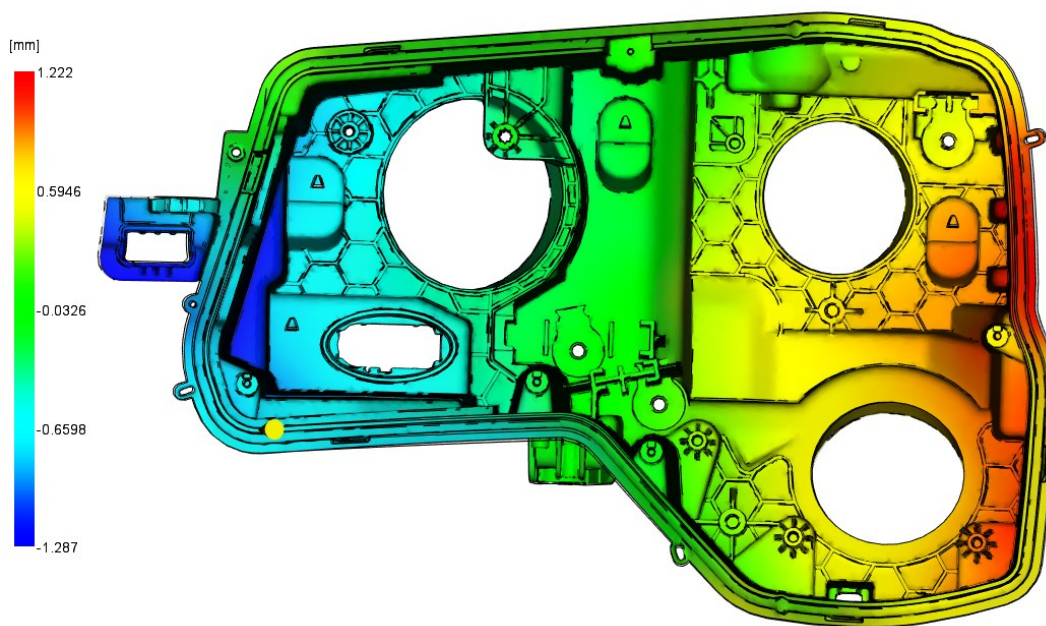
Pro tento lem je možné požit více tvarů, jako například tvar L, U, s a podobně. Ovšem u složitějších tvarů hrozí deformace samotného lemu, proto jsem použil jednoduchý tvar písmene L.

Navrhovaný lem je na následujícím snímku (obr. 7.6) označen zelenou barvou.



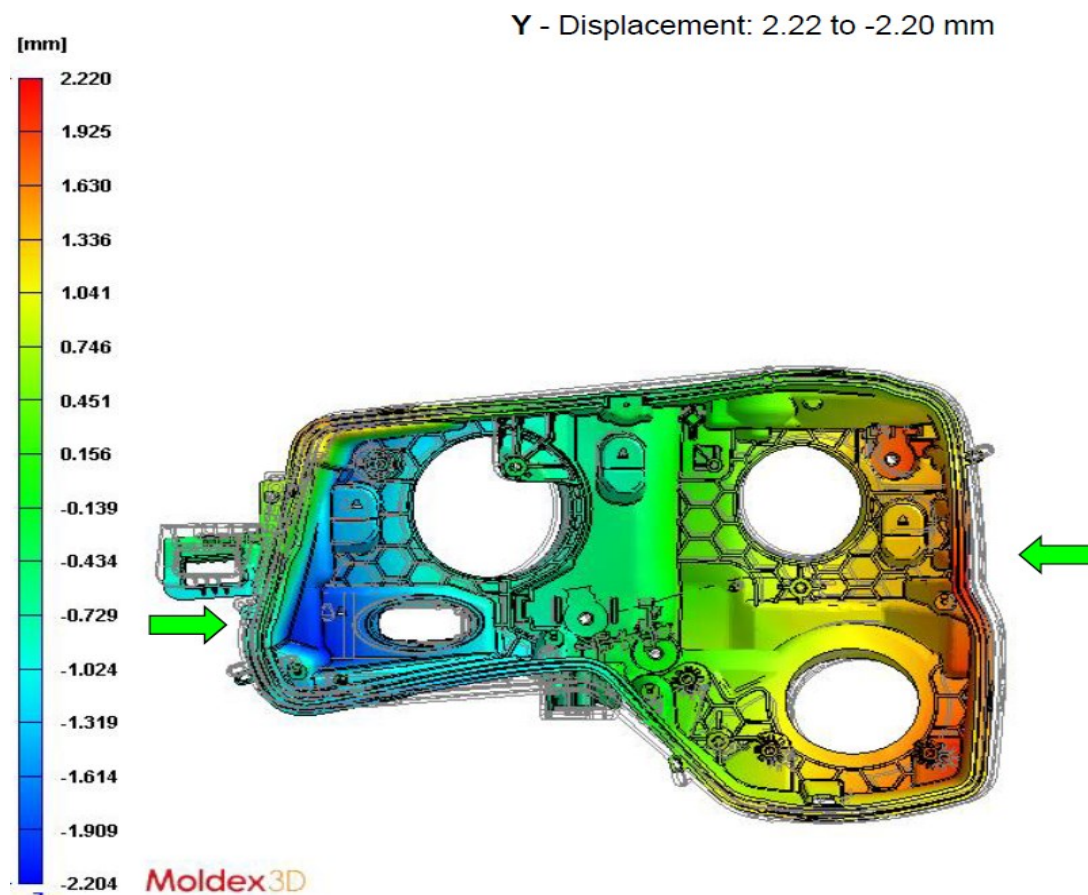
Obr. 7.6 – Housing s přidaným lemem - Projekt 1.

Pro ověření vlivu této úpravy jsem provedl Warpage analýzu, která ukáže deformace a křivení housingu. Na této analýze je vidět citelné zlepšení deformací. Přidáním obvodového lemu klesla celková deformace z 3,68 mm na 1,84 mm, což je výborný výsledek. Následující obrázky ukazují deformaci v ose Y pro housing s přidaným lemem (obr. 7.7) a bez něj (obr. 7.8).



Obr. 7.7 – Deformace v ose Y housingu s přidaným lemem - Projekt 1.

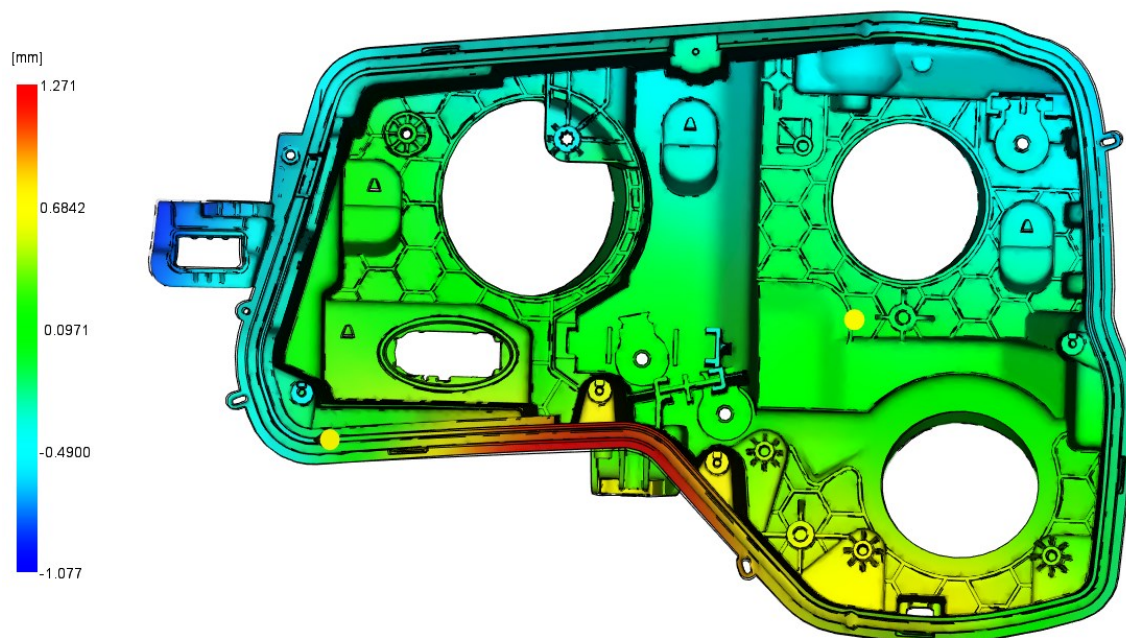
Na této analýze původního housingu (obr. 7.8) je vidět silně deformované stěny housingu s deformací okolo 2 mm, které jsou na upraveném housingu (obr. 7.7) přibližně poloviční.



Obr. 7.8 – Deformace v ose Y housingu bez lemu - Projekt 1.

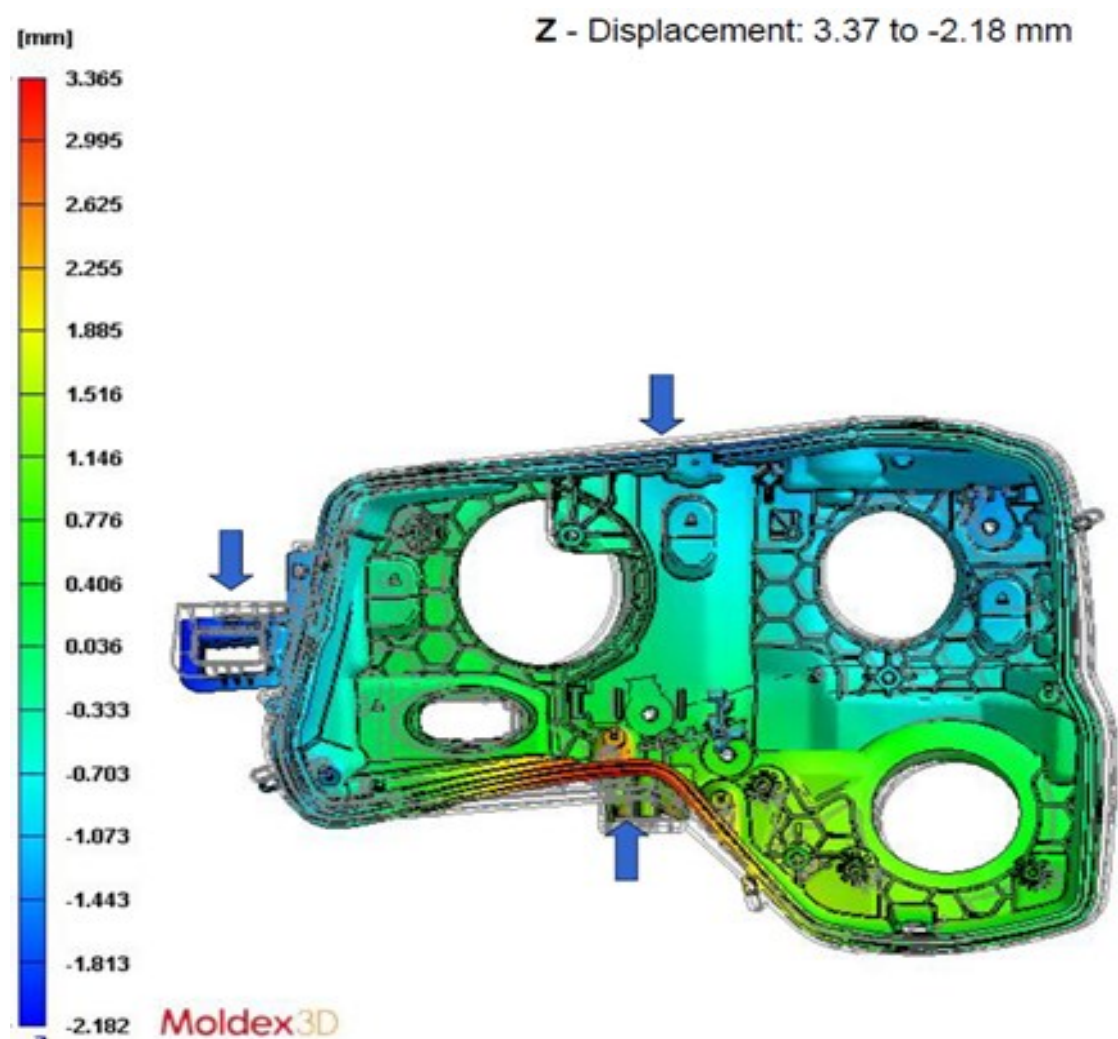


Další snímek (obr. 7.9) ukazuje deformaci nového řešení housingu s upraveným lemem v ose Z. Zde je opět vidět zásadní rozdíl v deformaci oproti housingu bez této úpravy (obr. 7.10).



*Obr. 7.9 – Deformace v ose Z housingu s přidaným lemem - Projekt 1.*

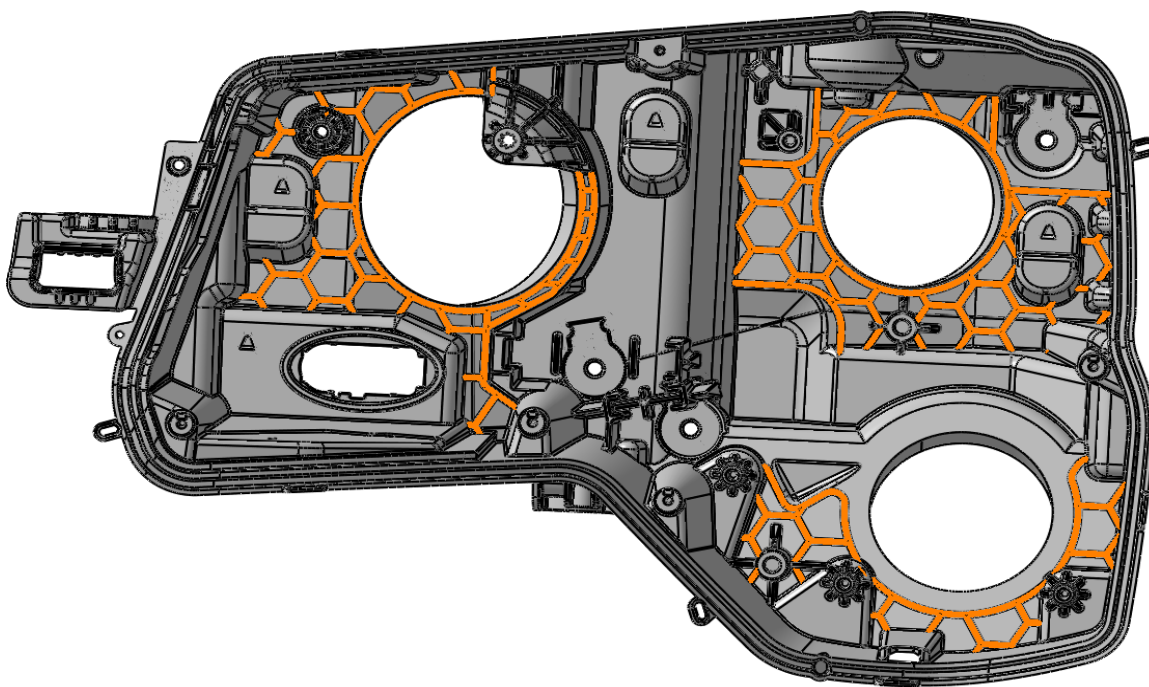
Tato simulace (obr. 7.10) vykazuje velké deformace, které znemožní montáž určitých komponent, jako je například sklo. Sklo se jistě nepovede zasadit do drážky, která je posunutá o více než 3 mm, zato deformace 1,2 mm je ještě v hranicích tolerance pro montáž skla.



Obr. 7.10 – Deformace v ose Z housingu bez lemu - Projekt 1.

## 7.3 Odstranění žebrování

Pro materiál PP-GF30 je typické deformovat se směrem k teplejšímu povrchu, proto jsem jako jednu z úprav housingu odstranil voštinové zesílení na zadních stěnách tělesa světlometu, aby bylo dosaženo co nejrovnoměrnějšího chlazení stěn. Odebraná žebra jsem zvýraznil v následujícím modelu (obr. 7.11).

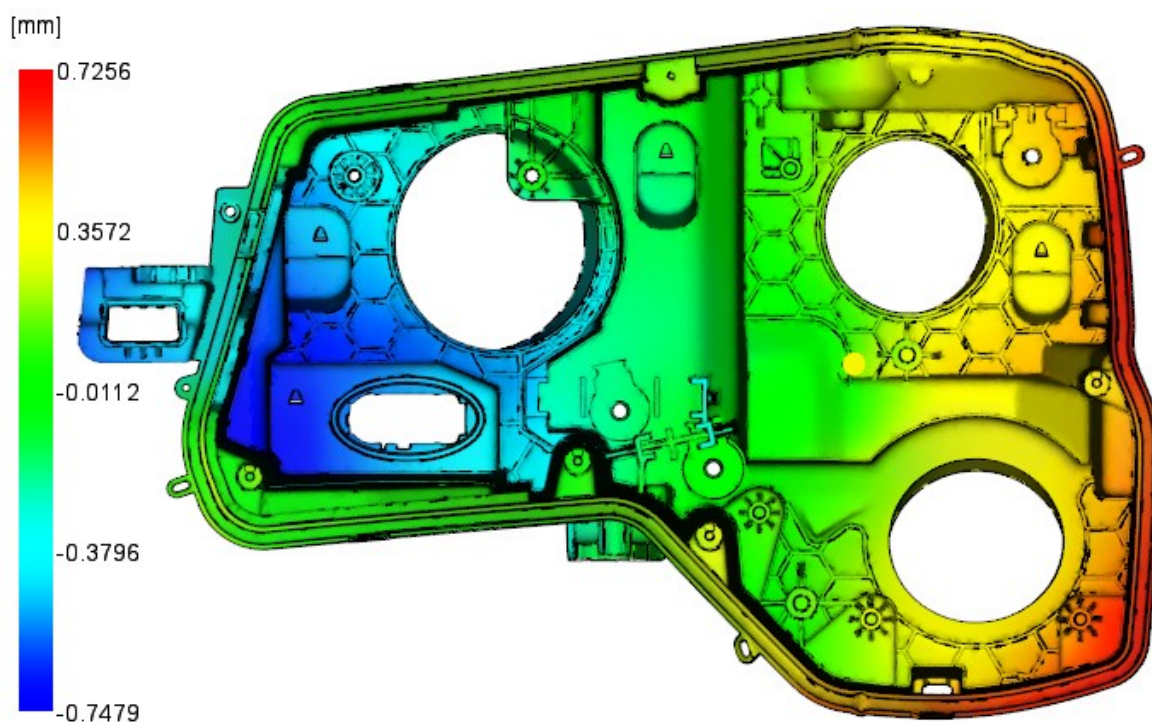


*Obr. 7.11 – Housing s voštinovými žebry - Projekt 1.*

V současném stavu dochází k deformacím obvodových stěn housingu, které si lze představit jako jejich svírání. Od této úpravy očekávám snížení deformace a zlepšení tečení materiálu. Přidanou hodnotou by byla jednodušší forma a také částečná úspora materiálu.

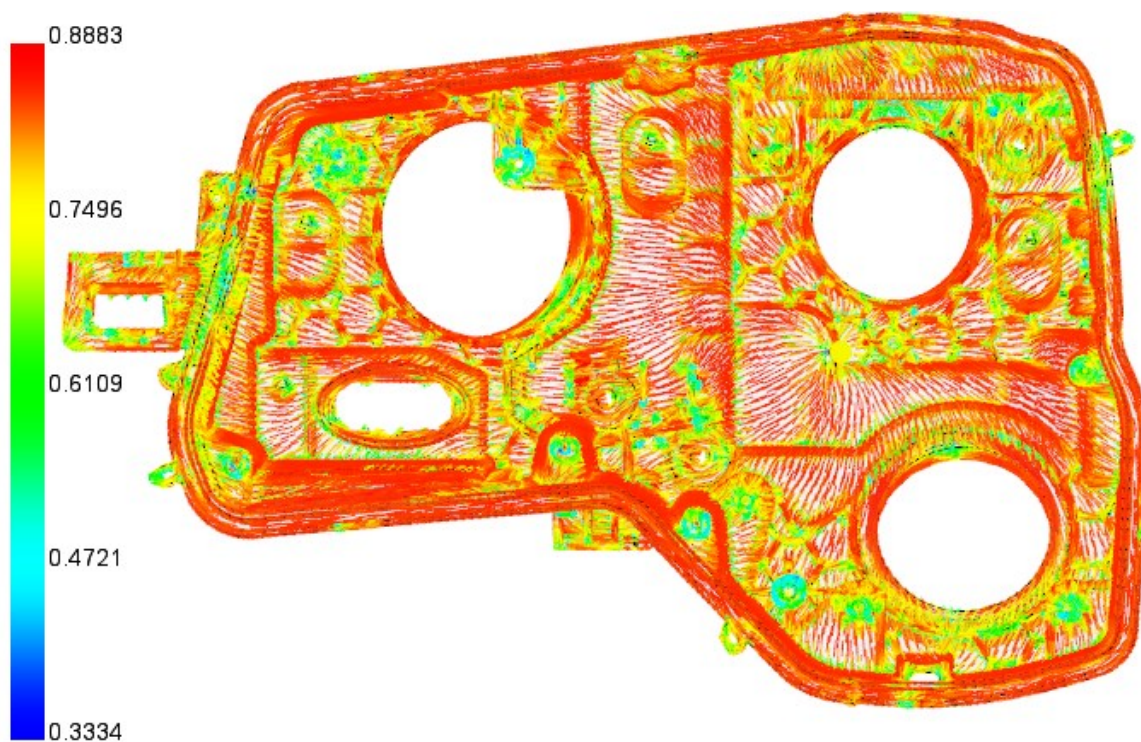
Pro následující analýzy jsem do výpočtu nezahrnul chladicí systém, který by mohl zkreslovat výsledky. V tomto případě jde pouze o chladnutí rozdílně hrubých stěn. První výpočet je se stávajícími hexagonálními žebry (obr. 7.12).





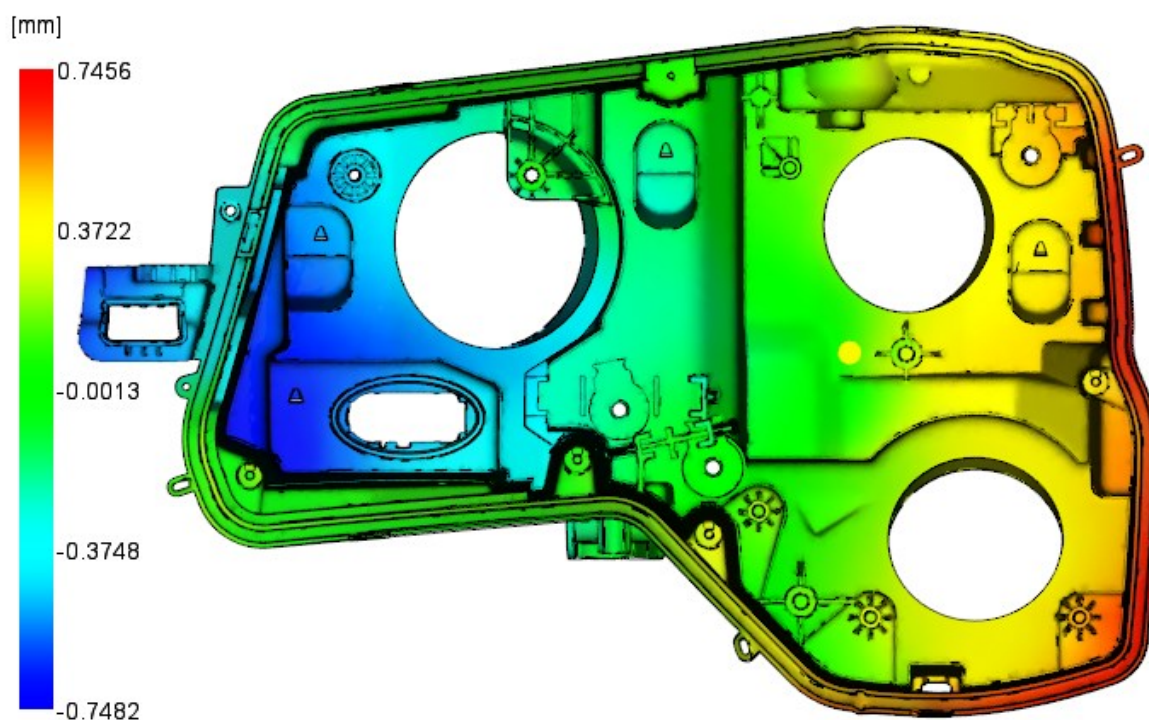
Obr. 7.12 – Deformace v ose Y housingu s žebry - Projekt 1.

Obrázek 7.13 ukazuje analýzu tečení materiálu s orientací vláken plniva ve formě. Zde lze vidět, že jsou vlákna v oblasti žeber chaoticky zesíťovaná, ale ve stěně pod nimi dochází k téměř laminárnímu proudění, což znamená, že má žebrování na proudění minimální vliv.



Obr. 7.13 – Orientace vláken pro housing s žebry - Projekt 1.

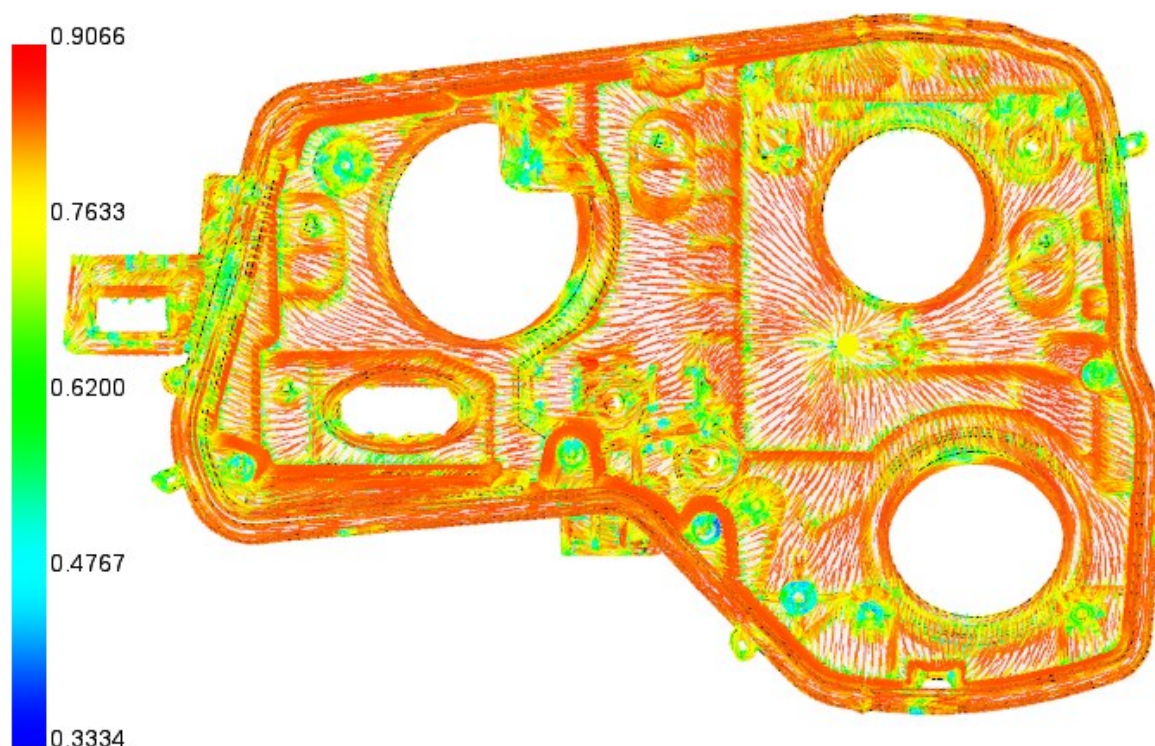
Housing bez hexagonálních žeber (obr. 7.14) by dle mého názoru měl vykazovat menší míru smrštění stěn, jelikož nebude docházet k nerovnoměrnému chladnutí zadních ploch a nebude docházet ke kumulaci vláken ve voštinovém zesílení. Ovšem analýza ukázala, že rozdíl deformací v ose Y je v největším rozsahu pouze 0,2 mm a to navíc v neprospěch housingu bez žeber.



*Obr. 7.14 – Deformace v ose Y housingu bez žeber - Projekt 1.*

Zde jsem opět provedl analýzu polohy vláken (obr. 7.15), abych ověřil, zda má absence voštinových žeber vliv na proudění skelného plniva. Ta ukázala, že mezi oběma modely není téměř žádná změna v tečení materiálu v základních stěnách pod konkrétními žebry, čímž vyvrátila negativní vliv těchto žeber na vznik deformací.





*Obr. 7.15 – Orientace vláken pro housing bez žeber - Projekt 1.*

Jelikož se ale jedná o pevnější polypropylen vyztužený skelnými vlákny, který má vyšší pevnost, je možné ponechat stěny bez žeber, vzhledem k tomu, že mají tato žebra minimální vliv na deformace. Navíc se jejich odebráním ušetří materiál a zjednoduší forma, což povede ke snížení výrobních nákladů.

Z provedených analýz vyplývá, že po úpravě neproběhla téměř žádná změna v deformacích a proto jsem se rozhodl neprovádět analýzu chlazení. Tato analýza by byla zbytečná, jelikož největší rozdíl deformací mezi upravenými housingy je v celkovém měřítku pouze 0,07 mm, což dává minimální prostor dalším deformacím způsobeným nerovnoměrným chlazením.

## 8 Změna počtu vstřikovacích bodů, jejich polohy a jejich vliv na deformace

Pro snížení deformací je vhodná co nejlepší distribuce taveniny ve formě. Toho lze docílit zvýšením počtu vstřikovacích bodů nebo umístěním vtoku do optimálního místa, ze kterého dokáže rovnoměrně vyplnit celou formu.

### 8.1 Změna počtu vstřikovacích bodů

Pro dosažení ideální distribuce taveniny ve formě se často používá více vtoků, nejčastěji dvou (viz obr. 8.1). Díky více vtokům tavenina rovnoměrněji rychleji doteče, rovnoměrně chladne a díky tomu dochází k menším deformacím. Ovšem tato úprava s sebou nese i negativa v podobě vzniku studených spojů v místě, kde se setkají hranice tavenin. Také zde vzniká problém s nastavením vzájemného zpoždění jednotlivých vstřikovacích bodů pro optimální plnění formy.

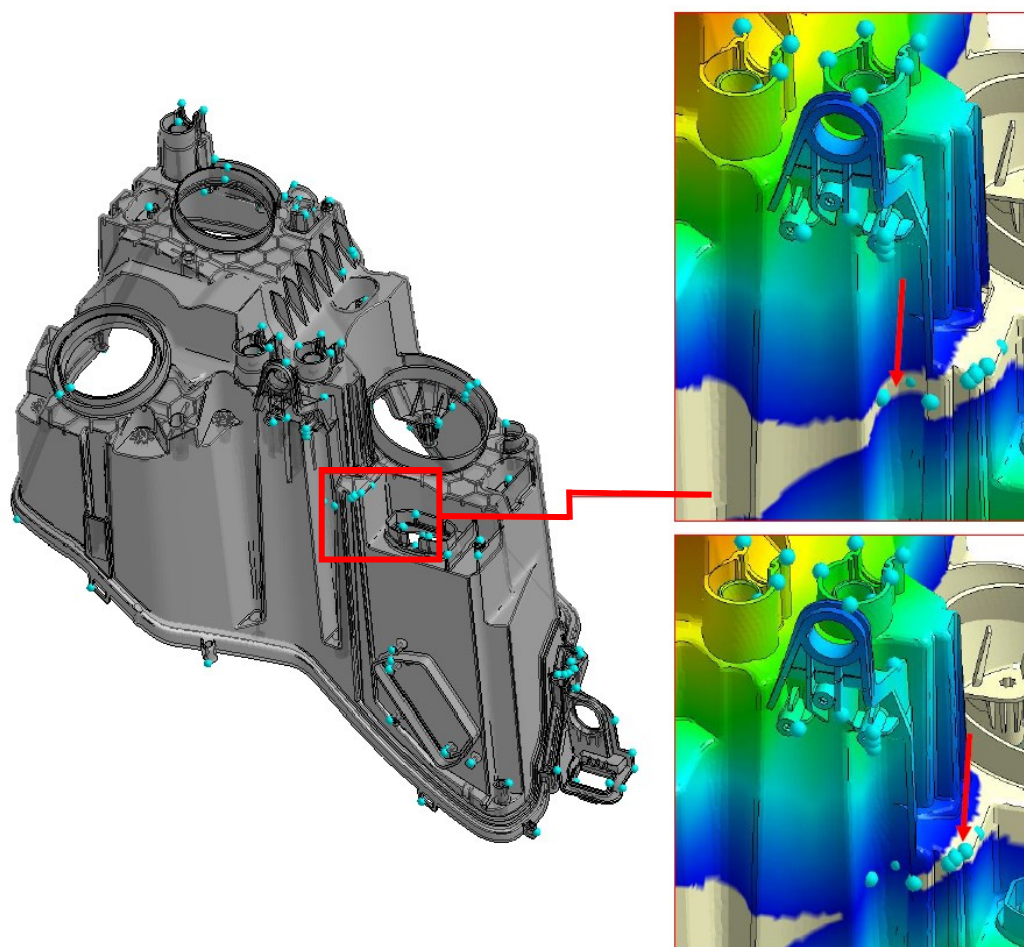


*Obr. 8.1 – Analýza pro dva vstřikovací body - Projekt 1.*

Jak již bylo zmíněno v 6. kapitole, může při použití dvou vtoků docházet k uzavírání vzduchu mezi taveninami.

Přesně na toto ukázala analýza plnění Air traps, kde dochází na hraně housingu Projektu 1, ke vzniku vzduchových kapes (viz obr. 8.2).

Tomuto hromadění lze zabránit vhodným odvětráním tohoto místa, ovšem to může být částečně limitováno prostorem ve formě. Proto je výhodnější využití jednoho vtoku, kde nedochází k uzavírání vzduchu mezi hranicemi tavenin.

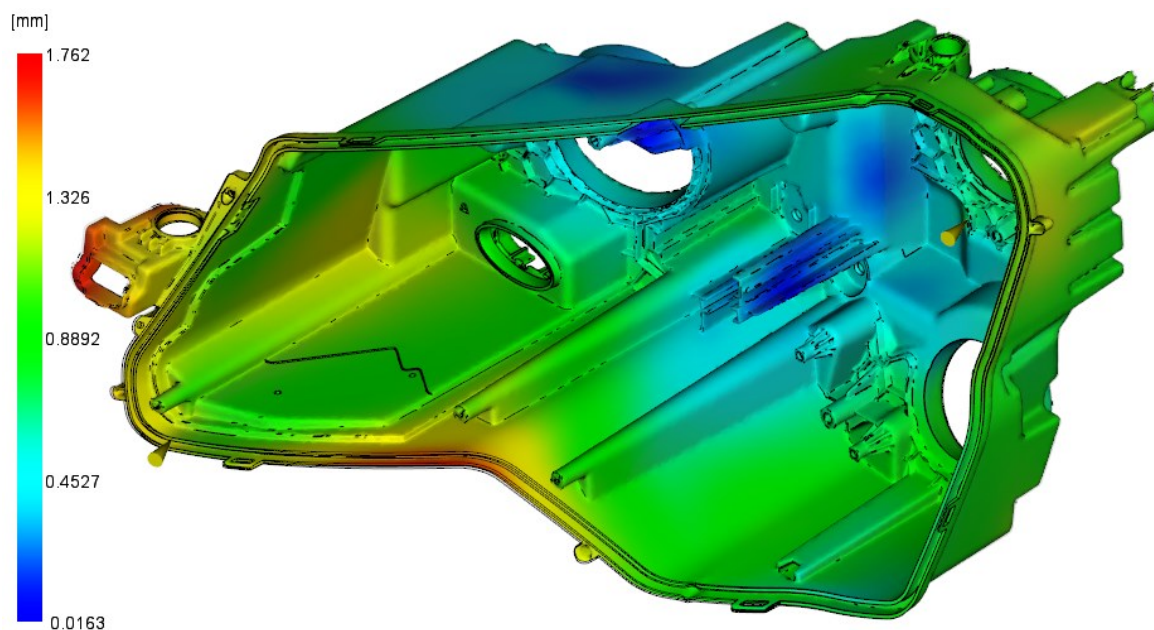


*Obr. 8.2 – Analýza Air traps pro dva vstřikovací body - Projekt 1.*

Navýšení počtu vtoků má převážně pozitivní vliv na deformace. Ovšem zde vždy záleží na konkrétním případě a umístění jednotlivých vstřikovacích bodů, jelikož je nutné správně vybalancovat plnění formy. Také je nutné brát v potaz složitější formu a její větší zástavbové rozměry pro vtok a odvětrání.

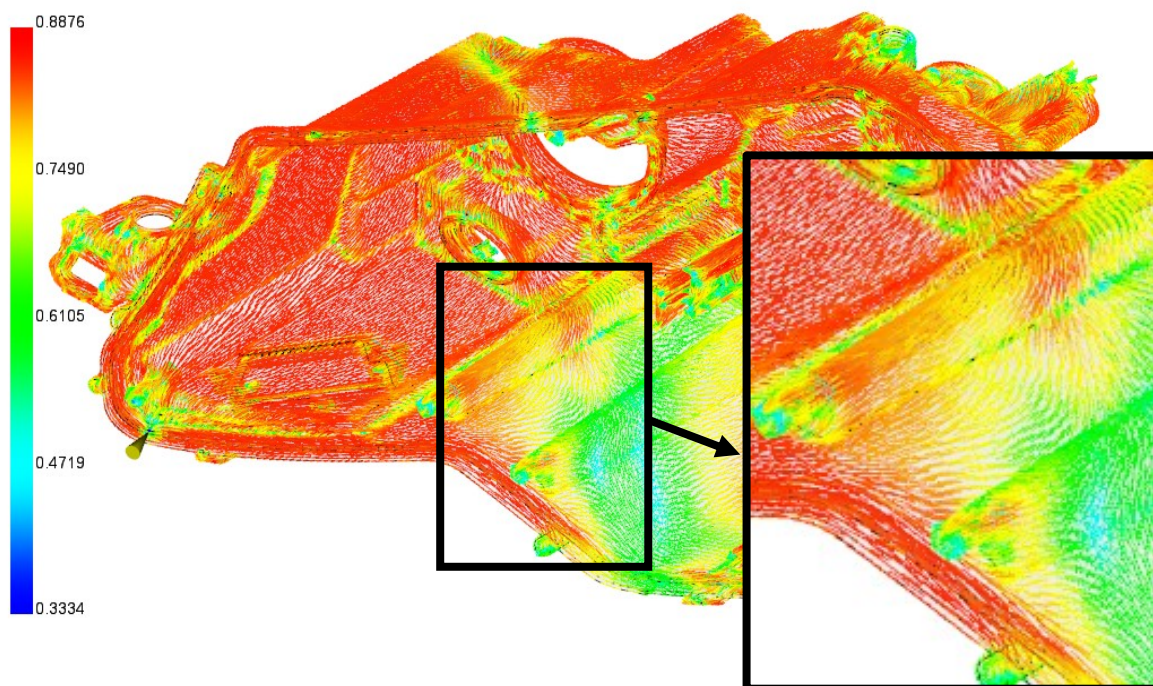
Další provedenou simulací je analýza deformací pro dva vtoky (viz obr. 8.3), kde největší deformace 1,76 mm vznikla ve spodním rádiusu.





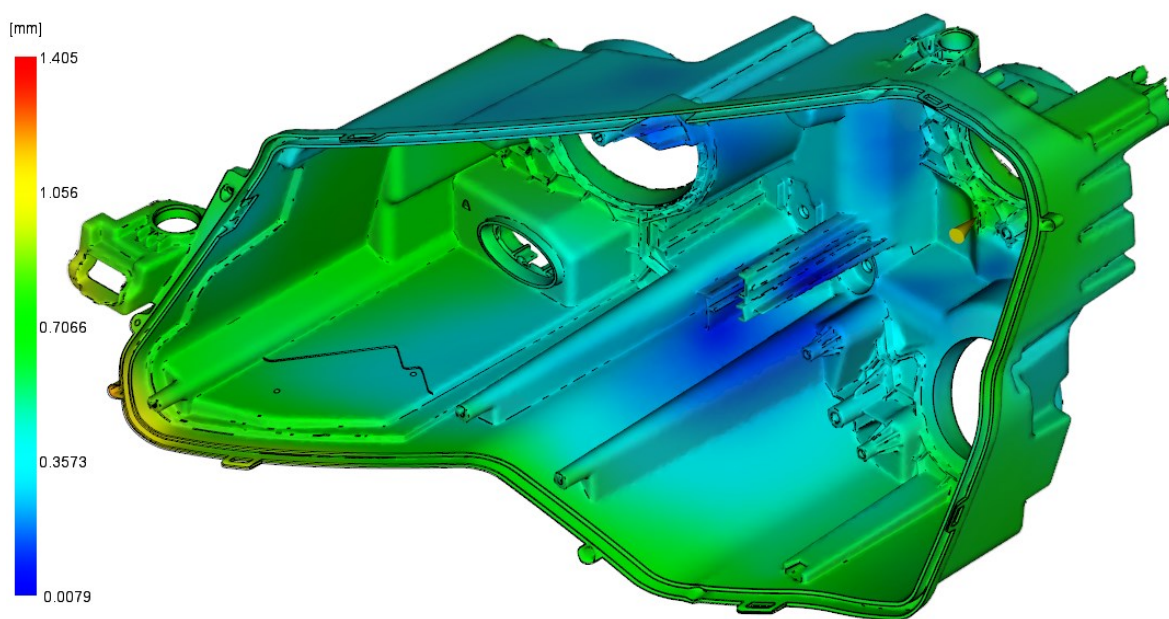
*Obr. 8.3 – Obecná analýza deformací pro dva vstřikovací body - Projekt 1.*

Orientace vláken (obr. 8.4) zde při plnění dvěma vstřiky způsobuje vážnou deformaci spodního rádiusu vlivem většího smrštění vláken v kolmém směru na vlákna. Orientace těchto vláken je způsobena právě použitím dvou vstřiků, kde při sražení dvou tavenin dojde ke změně jejich toku.



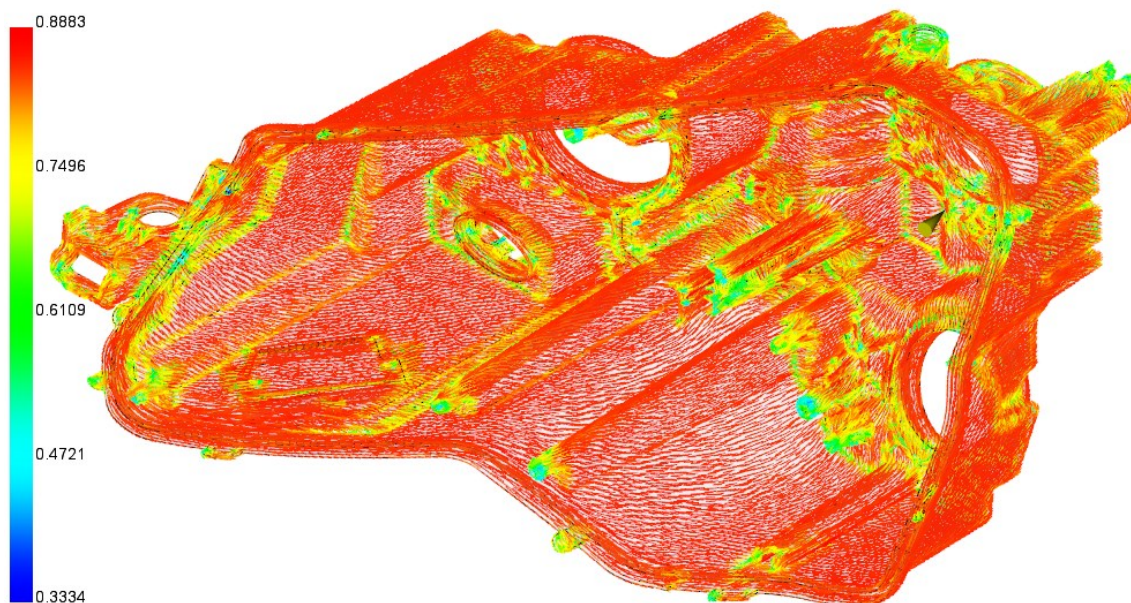
*Obr. 8.4 – Orientace vláken pro dva vstřikovací body - Projekt 1.*

Oproti tomu při použití jednoho vstřikovacího bodu (obr. 8.5) dochází v místě deformovaného rádiusu k mnohem menším deformacím než u plnění dvěma vstřiky. Zde je hodnota deformace ve spodním rádiusu více než poloviční okolo 0,7 mm.



*Obr. 8.5 – Obecná analýza deformací pro jeden vstřikovací bod - Projekt 1.*

Při použití jednoho vstřikovacího bodu dochází k pozvolnému plnění deformovaného rádiusu s orientací vláken (obr. 8.6) rovnoběžnou na hranu housingu a vznikají tak výrazně menší deformace.



*Obr. 8.6 – Orientace vláken pro jeden vstřikovací bod - Projekt 1*

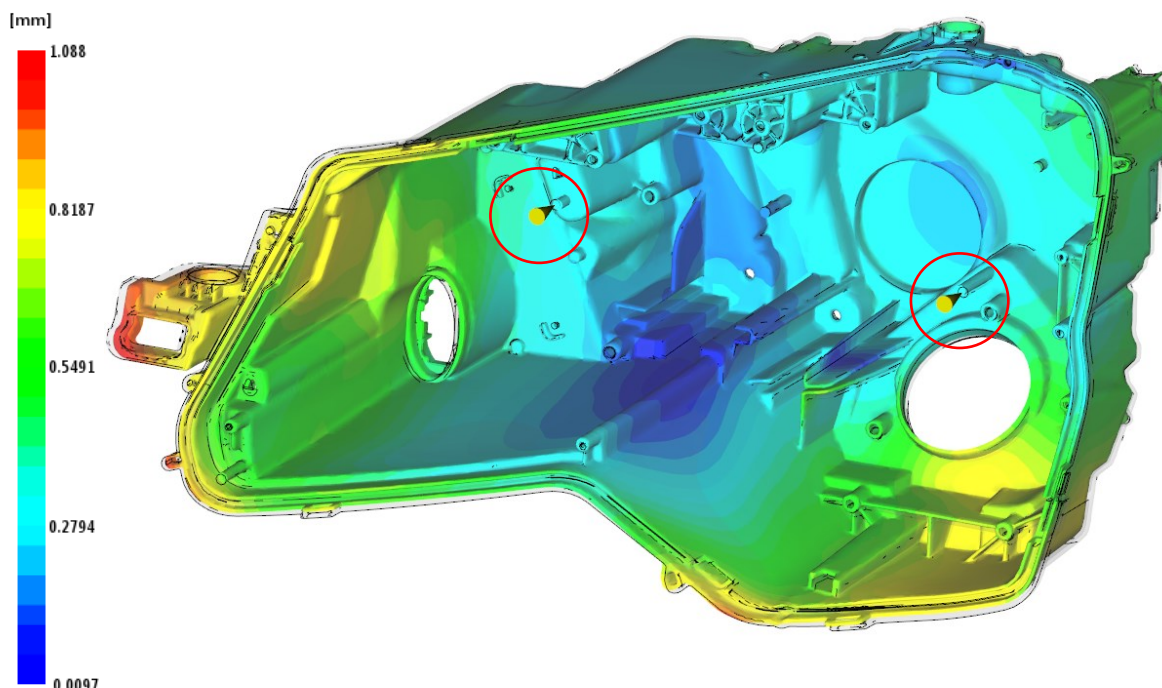


Tento výsledek je poměrně překvapivý, jelikož při vstřikování dvěma body dochází u neplněných plastů obecně k nižším deformacím díky rovnoměrnějšímu chlazení a plnění formy. Ovšem toto pro PP-GF30 platí jen částečně právě kvůli jeho specifickým vlastnostem a závislosti deformací na orientaci vláken (obr. 8.6).

## 8.2 Změna polohy vstřikovacího bodů

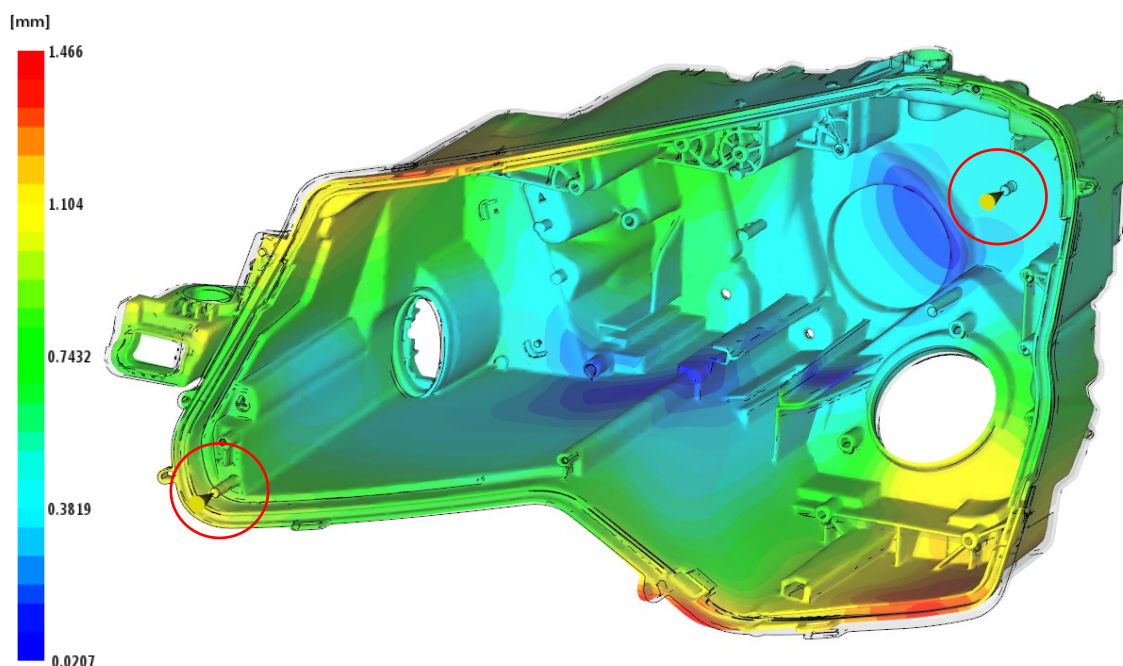
Další možností dosažení lepšího plnění vstřikovací formy je optimalizace polohy vstřikovacích bodů. Zde je nutné brát ohled na uzavírání vzduchu mezi taveninami, rovnoměrné hodnoty tlaku v dutině formy a další faktory. Tato analýza je provedena na housingu Projektu 1 ovšem ve variantě TOP s led technologií kde se neprojevovaly tak velké deformace.

První simulace má vtoky umístěné pouze do zadní stěny formy (obr. 8.7, posazené do vyvýšených míst. Okolí vtoků obklopují poměrně velké radiusy, což neklade překážku v proudění a zaručuje volný tok taveniny a laminární uspořádání vláken. Výsledky této analýzy vycházejí velmi dobře, absolutní deformace od 0 do přibližně 1 mm jsou výborné a splňují hranice tolerancí.



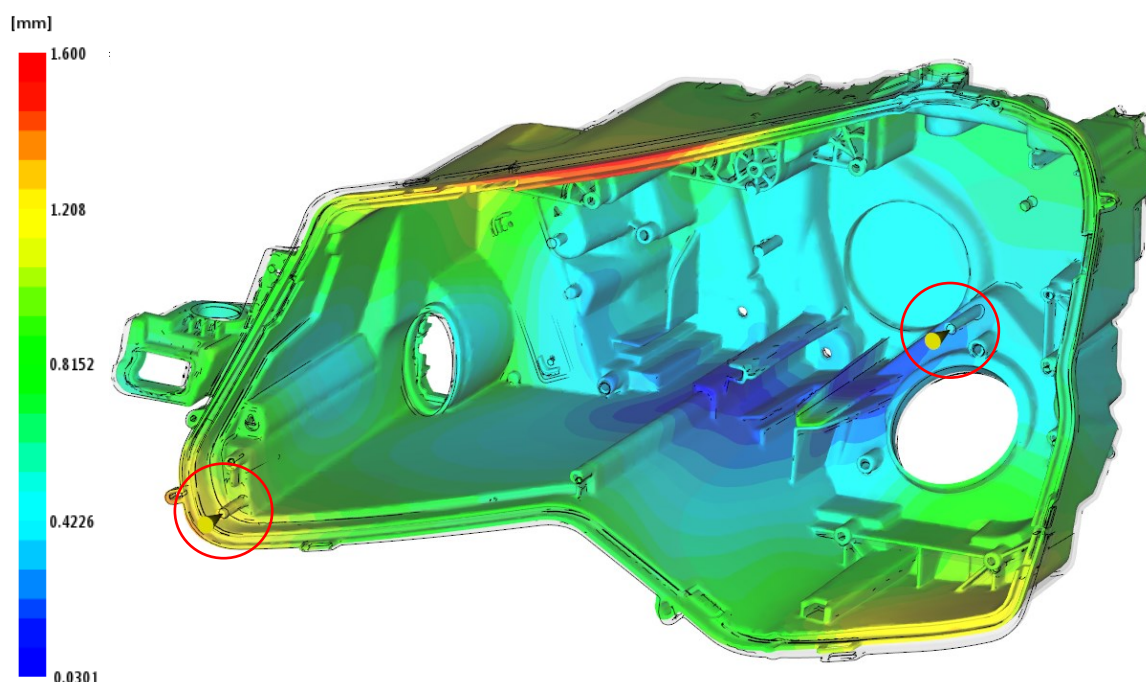
Obr. 8.7 – Deformace pro rozložení vtoků – Verze 1 - Projekt 1.

Pro další simulaci (obr. 8.8) je jeden z vtoků umístěn do blízkosti lepící drážky ve spodním rádiusu a druhý vtok do protilehlého rohu doprostřed volné plochy. Tímto rozložením se eliminovala deformace uchycení ke karoserii na levé straně. Ovšem vzhledem k velké vzdálenosti vznikly větší deformace lepící drážky v pravém spodním a levém horním rohu a to konkrétně okolo 1,4 mm.



*Obr. 8.8 – Deformace pro rozložení vtoků – Verze 2 - Projekt 1.*

Následující simulace používá stejný vtok v levém spodním rohu, ale druhý vtok je posunutý níž, aby bylo dosaženo lepšího plnění spodní drážky. Posunutí pravého vtoku má za následek snížení deformace v pravém spodním rohu o přibližně 0,2 mm, ale zároveň vede k propadání horní lepící drážky a navýšení její deformace o 0,2 mm na hodnotu 1,6 mm, což se blíží horní hranici tolerance pro lepení skla.



Obr. 8.9 – Deformace pro rozložení vtoků – Verze 3 - Projekt 1.

Z těchto analýz vyplývá, že poloha vstřikovacích bodů má na deformace zásadní vliv. Což potvrzuje důležitost rovnoměrného plnění a s ním spojeného rovnoměrného chlazení výlisku.

Jako nejlepší se ukázala analýza *Verze 1* s rozložením vtoků do zadní stěny housingu (obr. 8.6), jelikož vykazovala nejnižší deformace v rozmezí přibližně 0 až 1 mm. Proti tomu nejhůř vycházely deformace u analýzy *Verze 3*, kde se největší deformace dostala až na úroveň 1,6 mm.

## 9 Závěr

Na začátku této práce jsem se věnoval řešerši ohledně vstřikování plastů a obecných konstrukčních zásad pro tvorbu plastových dílů. Dále jsem popsal materiál použitý pro konkrétní, touto prací řešené, tělesa světlometu a uvedl jeho základní vlastnosti.

Prvním bodem této práce bylo stanovení příčin vzniku deformací na dvou zadaných projektech. To jsem provedl s ohledem na známé skutečnosti a se zaměřením na vliv geometrie a vlastnosti materiálu PP-GF30.

V další části práce jsem vytvořil doporučení pro snížení deformací při použití materiálu PP-GF30, která jsem rozdělil do dvou skupin na technologická a konstrukční. Vzhledem k tomu, že deformace ovlivňuje zejména technologie výroby, je tato část obsáhlejší, mezi zásadní úpravy patří: uniformní chlazení formy, změna polohy a počtu vtoků, prodloužení doby relaxace a přidání aditiv.

Dále jsem pracoval na zadaných konstrukčních úpravách. Úprava samotného 3D modelů je velmi náročná, jelikož jsou prvky v modelech vzájemně provázány a provést úpravu například rádiusu znamená předefinovat všechny na něj navázané prvky.

První testovanou úpravou je zvětšení rozměru rádiusů, tato úprava se obecně považuje za jednoduchou možnost jak zlepšit deformace, ale v praxi se neužívá tak často vzhledem k tomu, že ukrájuje prostor z vnitřní části housingu. Moje analýzy navíc ukázaly, že zvětšení rádiusů nemá žádný významný vliv na snížení deformací. A jejich jediný podstatný přínos v housingu je zvýšení rázové pevnosti v jejich okolí.

Další provedenou úpravou je přidání obvodového lemu. Tento lem slouží k zesílení vnějších stěn a z analýz vyplývá, že se jedná o velmi efektivní řešení s nejlepšími výsledky ze všech mých návrhů. Celkové deformace housingu se díky tomuto lemu snížily z 3,68 na 1,84 mm. Tato hodnota se již nachází v hranicích tolerance a podle analýz by vyřešila problém s lepením skla.

Jelikož se výlisky z PP-GF30 deformují směrem k pomaleji chladnoucí stěně, rozhodl jsem se odstranit žebrování na zadních stěnách housingu, aby docházelo k jejich rovnoměrnému chladnutí. Tato úprava se ukázala jako neefektivní z hlediska snížení deformací, ovšem nevykazuje ani jejich nárůst, tudíž s ohledem na deformace je možné žebra odstranit a snížit tak výrobní náklady a hmotnost, což je také velký přínos.

V další kapitole jsem zjišťoval vliv změny počtu a polohy vstřikovacích bodů vzhledem k deformacím. Zde se oba faktory ukázaly jako velmi důležité.

U navýšení počtu vstřikovacích bodů jsem dosáhl překvapivého výsledku v neprospěch většího počtu vtoků, kde se s jedním vtokem podařilo dosáhnout nižší celkové deformace, čímž lze docílit jednoduššího vstřikovacího procesu, jednodušší formy a také finanční úspory.

Dále jsem simuloval rozdílné umístění vstřikovacích bodů a potvrdil tak vztah mezi rovnoměrným plněním formy a vznikem deformací. Zde se podařilo pouhým posouváním vtoků docílit změny maximální deformace z přibližně 1,6 mm na 1 mm.

Nakonec jsem provedl závěrečné shrnutí výsledků. Všechny zadané cíle mé diplomové práce byly splněny.

## 10 Seznam použité literatury

### Literatura:

[1] Deformation analysis of short glass fiber-reinforced polypropylene injection-molded plastic parts. *Researchgate.net* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/258157111\\_Deformation\\_analysis\\_of\\_short\\_glass\\_fiber-reinforced\\_polypropylene\\_injection-molded\\_plastic\\_parts](https://www.researchgate.net/publication/258157111_Deformation_analysis_of_short_glass_fiber-reinforced_polypropylene_injection-molded_plastic_parts)

[2] EXTENSIVE GLASS FIBER OPTIONS TO MEET YOUR NEEDS. *Washingtonpennplastic.com* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <http://washingtonpennplastic.com/products/fiber-reinforced/glass-fiber-polypropylene>

[3] Fiber orientation tensor result. *Autodesk.com: knowledge.autodesk.com* [online]. California: Autodesk, 2018 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/MoldflowInsight-Results/files/GUID-67EA81F8-5044-461C-839E-987966065764-htm.html>

[4] Technologie vstřikování plastů. *Publi.cz* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>

[5] Validation and internal length scale determination for a gradient damage model: application to short glass-fibre-reinforced polypropylene. *Sciencedirect.com* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020768398001231>

[6] Varroc Lighting System, s.r.o. *Design Guidelines Varroc Lighting System*. 2019.

[7] Vstřikování plastů: 7 věcí, které byste o něm měli vědět. *Factoryautomation.cz* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/vstrikovani-plastu-7-veci-ktere-byste-o-nem-meli-vedet/>



[8] Vstřikování plastů: Technologie II. *Ksp.tul.cz* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)

[9] Warpage Reduction of Glass Fiber Reinforced Plastic Using Microcellular Foaming Process Applied Injection Molding. *Researchgate.net* [online]. [cit. 2019-04-04].

Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/publication/331228241\\_Warpage\\_Reduction\\_of\\_Glass\\_Fiber\\_Reinforced\\_Plastic\\_Using\\_Microcellular\\_Foaming\\_Process\\_Applied\\_Injection\\_Molding](https://www.researchgate.net/publication/331228241_Warpage_Reduction_of_Glass_Fiber_Reinforced_Plastic_Using_Microcellular_Foaming_Process_Applied_Injection_Molding)

[10] Základní principy konstrukce plastových dílů. *Publi.cz* [online]. [cit. 2019-04-03].

Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/10.html>

### **Obrázky:**

[1] Injection moulding process. *Cs.wikipedia.org* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné

z:

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Vst%C5%99ikovac%C3%AD\\_lis#/media/File:Injection\\_moulding\\_process.png](https://cs.wikipedia.org/wiki/Vst%C5%99ikovac%C3%AD_lis#/media/File:Injection_moulding_process.png)

[2] *Publi.cz* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z:

<https://publi.cz/books/179/10.html>

[3] *SABIC PPCOMPOUND G3230A: PP SHORT GLASS FIBER REINFORCED*. 2018.

# **11 Seznam příloh**

Příloha A: Datový nosič s kompletní diplomovou prací.

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Danielu Pišťáčkovi, Ph.D. za konzultace ohledně této diplomové práce. Dále zaměstnancům firmy Varroc Lighting s.r.o: Radimu Sládkovi za cenné rady a konzultace ohledně lisování a zajištění vzorků, Martinu Střížovi za konzultace ohledně MoldFlow a zhotovení analýz. V neposlední řadě také Ing. Aleši Barabášovi za odborné vedení a organizaci diplomové práce. A nakonec Ing. Lukáši Šidovi a Ing. Miroslavu Hrinikovi za konzultace a pomoc při řešení konstrukčních problémů.